



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PALIVOVÝ ČLÁNEK JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ EL. ENERGIE

A FUEL CELL, AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARIÁN KÜRTHY

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marián Kürthy

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Palivový článek jako alternativní zdroj el. energie

v anglickém jazyce:

A fuel cell, as an alternative source of electricity

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je problematika využití palivových článků pro produkci elektrické energie. Pozornost je zaměřena na využití palivového článku v mikrokogenerační jednotce.

Cíle bakalářské práce:

1. Představte princip palivových článků.
2. Uveďte základní typy palivových článků.
3. Představte možnosti využití zemního plynu jako paliva pro palivové články.
4. Proved'te technicko-ekonomické posouzení mikrokogenerační jednotky s palivovým článkem.

Seznam odborné literatury:

Palivové články, firemní materiál ČEZ, 2003

Přehled palivových článků, materiál ČEA, 2004

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotácia:

Práca sa zaoberá technológiou palivových článkov, princípom palivových článkov a ich rozdelením. Taktiež je predstavená možnosť využitia zemného plynu ako paliva pre palivové články. V záverečnej časti práce sú uvedené dve varianty použitia palivového článku v mikrokogenerácii a technicko - ekonomické zhodnotenie mikrokogeneračnej jednotky s palivovým článkom použitej v týchto variantách.

Annotation:

The work deals with fuel cell technology, the principle of fuel cells and their division. Also there is presented an option of natural gas utilization as a fuel for fuel cells in this work. In the end of this work two scenarios of fuel cell usage in microcogeneration are introduced and there is also a technical economic evaluation of fuel cell microcogeneration unit used in these scenarios.

Kľúčové slová:

Palivový článok, reforming zemného plynu, vodík, elektrická energia, mikrokogeneračná jednotka

Key words:

Fuel cell, natural gas reforming, hydrogen, electric power, microcogeneration unit

KÜRTHY, M. *Palivový článok jako alternativní zdroj el. energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracoval samostatne za pomoci uvedenej literatúry a konzultácií s vedúcim bakalárskej práce.

V Brně dne

.....
Marián Kürthy

Ďakujem garantovi práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odbornú pomoc pri písaní tohoto textu.

OBSAH

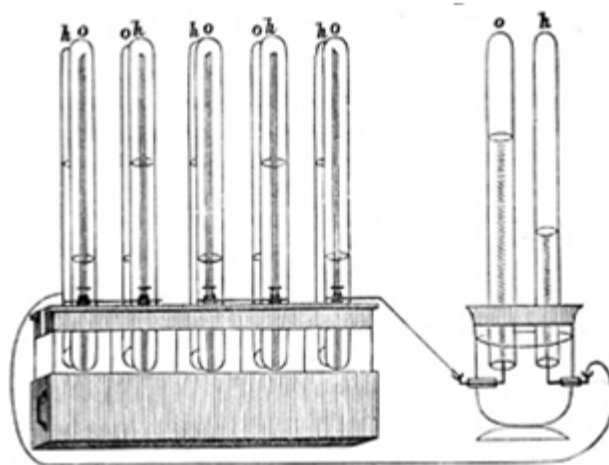
OBSAH	5
1 ÚVOD	6
2 HISTÓRIA	7
3 PALIVOVÝ ČLÁNOK	9
3.1 PRINCÍP FUNGOVANIA PALIVOVÝCH ČLÁNKOV	9
3.2 ZÁKLADNÉ KOMPONENTY PČ	11
3.2.1 Elektródy	11
3.2.2 Katalyzátory	12
3.2.3 Bipolárne dosky	12
3.2.4 Elektrolyty	13
3.3 ROZDELENIE PALIVOVÝCH ČLÁNKOV	13
4 TYPY PALIVOVÝCH ČLÁNKOV	14
4.1 NÍZKOTEPLTNÉ	14
4.1.1 Alkalický palivový článok (AFC – Alkaline Fuel Cell)	14
4.1.2 Polymérové palivové články (PEMFC – Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells)	15
4.1.3 Metanolový palivový článok (DMFC – Direct Methanol Fuel Cell)	17
4.2 STREDNETEPLTNÉ	18
4.2.1 Kyslý palivový článok (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cells)	18
4.3 VYSOKOTEPLTNÉ	19
4.3.1 Palivové články s uhlíčitánovou taveninou (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell)	19
4.3.2 Keramické palivové články (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell)	21
5 PALIVO A JEHO SPRACOVANIE	23
5.1 REFORMING ZEMNÉHO PLYNU	23
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE MIKROKOGENERAČNEJ JEDNOTKY S PALIVOVÝM ČLÁNKOM	27
6.1 POSÚDENIE NASADENIA KOGENERAČNEJ JEDNOTKY S PALIVOVÝM ČLÁNKOM DO RODINNÉHO DOMU V REŽIME SLEDOVANIA TEPELNÉHO VÝKONU	28
6.1.1 Popis lokality a energetický parametrorodinného domu	28
6.1.2 Popis mikrokogeneračnej jednotky	30
6.1.3 Popis inštalácie mikrokogeneračnej jednotky v rodinnom dome	31
6.1.4 Energetická bilancia nasadenia mikrokogeneračnej jednotky	32
6.1.5 Návratnosť vložených investícií	33
6.2 NASADENIE MIKROKOGENERAČNEJ JEDNOTKY DO OBJEKTU SO SPOTREBOU ENERGIÍ EKVIVALENTNOU VOČI VYROBENÝM ENERGIÁM	37
6.2.1 Mikrokogeneračná jednotka s palivovým článkom	37
6.2.2 Mikrokogeneračná jednotka so spalovacím motorom	41
7 ZÁVER	47
8 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	48
8.1 POUŽITÁ LITERATÚRA	48
8.2 ZDROJE Z INTERNETU	48

1 Úvod

Ľudstvo ku zachovaniu svojej existencie a k svojmu ďalšiemu rozvoju potrebuje energetické zdroje. S rýchlym vzostupom technického pokroku vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti logicky stúpa aj spotreba energií. V dnešnej dobe sa na produkciu elektrickej ako i tepelnej energie z veľkej časti podieľajú zdroje spaľujúce fosílna palivá. Tieto primárne energetické zdroje sú vyčerpatelné a produkujú veľké množstvo emisií, a preto nastala potreba využívania alternatívnych zdrojov energie. Palivové články, ako jeden z alternatívnych zdrojov elektrickej energie sa začínajú dostávať do povedomia nielen odbornej, ale i laickej verejnosti. Palivový článok je čistá technológia, ktorá dosahuje vysokých účinností, a preto vidíme v palivovom článku v blízkej budúcnosti veľký potenciál možnosti uplatnenia.

2 História

Princíp palivových článkov (PČ) bol vynájdený v roku 1838 švajčiarskym vedcom Christian Friedrich Schönbeinom. Na základe článku, ktorý tento vedec publikoval v jednom z odborných časopisov danej doby, zostavil v nasledujúcom roku prvú koncepciu palivového článku waleský sudca, vedec a vynálezca, sir William Robert Grove. On ako prvý zistil, že je možné vyrábať elektrinu procesom inverzným k elektrolyze vody. Platinové elektródy, ktoré sir Grove vo svojom článku použil, boli umiestnené v sklenených trubičkách, ktorých dolný koniec bol ponorený do elektrolytu v podobe roztoku kyseliny sírovej. Ich horná časť bola uzavretá a vyplňal ju kyslík a vodík. Takýto článok predstavoval napätie približne 1V. Jeho ukazateľom bola nádobka, v ktorej prebiehala elektrolyza vody. Zariadenie ako celok bolo priemyselne nepoužiteľné kôli nedostatočnej produkcii elektriny.



Obrázok 1 : Groveho palivový článok [12]

Termín palivový článok bol však prvýkrát použitý až v roku 1889, kedy sa Charles Langer a Ludwig Mond pokúsili vytvoriť funkčný článok pracujúci so vzduchom a svietiplynom. Prvé úspešné zariadenie s palivovým článkom vyvinul v roku 1932 Dr. Francis Thomas Bacon. Tento článok na kyslíko – vodíkovej bázi používal elektródy vyrobené z niklu, ktorý bol lacnejší ako platina použitá v zariadení Monda a Langer.



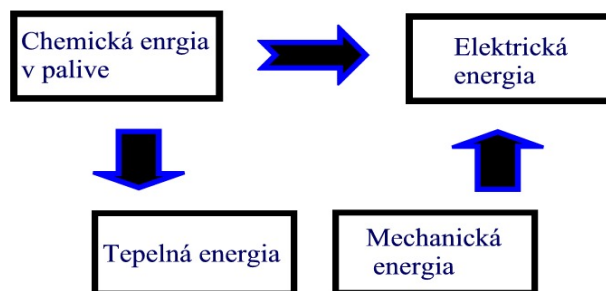
Obrázok 2 : F.T.Bacon so svojím palivovým článkom [13]

V spolupráci s kolegami potom Bacon v roku 1959 zostrojil 5 KW zariadenie s palivovým článkom, ktoré poháňalo stroj na zváranie. V tom istom roku Harry Karl Ihrig zkonštruoval a verejnosti predviedol traktor o výkone 20 HP poháňaný 15 KW alkalickým palivovým článkom. V neskorých 50. až 60. Rokoch začala NASA vyvíjať generátory el. prúdu pre aplikácie vo vesmírnych programoch, a tak sa palivové články stali základným energetickým systémom množstva vesmírnych programov. Od 70. rokov, kedy nastala vo svete ropná kríza, sa začala odborná verejnosť o technológiu palivových článkov viac zaujímať, čo viedlo k urýchleniu ich vývoja v 90. rokoch 20. storočia.

3 Palivový článok

3.1 Princíp fungovania palivových článkov

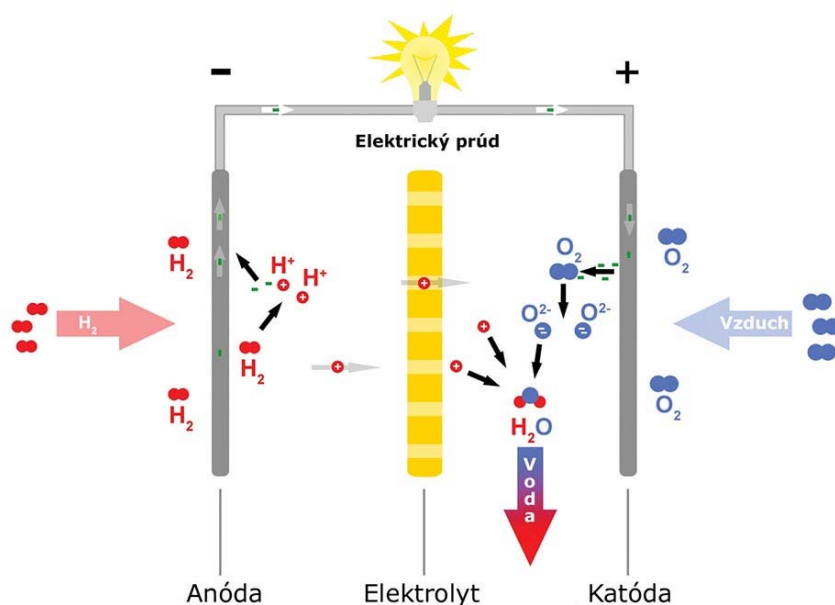
Palivový článok je elektrochemické zariadenie, ktoré pomocou oxidačno-redukčnej reakcie mení chemickú energiu paliva na elektrickú energiu, vodu a teplo alebo vodnú paru.



Obrázok 3 : Transformácia energií

Princíp činnosti palivových článkov je v podstate inverzný k elektrolýze. Kým pri získavaní vodíka a kyslíka z vody je nutné dodávať potrebné množstvo elektriny, v palivových článkoch sa naopak zlúčením oboch prvkov uvoľňuje energia a premieňa sa na elektrický prúd, pričom na konci procesu vzniká voda. Vedľajším produktom spomínanej reakcie je teplo.

Konštrukčne a funkčne je palivový článok porovnateľný s galvanickým článkom, avšak existuje medzi nimi jeden zásadný rozdiel. Ten spočíva v skutočnosti, že v prípade palivového článku aktívne chemické látky nie sú súčasťou elektród, ale sú k nim kontinuálne dodávané. Elektródy sú v procese použité výlučne ako katalyzátory chemických reakcií, behom chemických premien sa takmer neopotrebovávajú a ich chemické zloženie sa nemení. Pokiaľ sa do palivového článku trvalo privádzajú potrebné aktívne látky, môže pracovať bez časového obmedzenia. Inými slovami, palivový článok sa pri dodržaní týchto zásad nevybíja.



Obrázok 4 : Reakcie v palivovom článku [18]

Na katódu je privádzaný molekulárny kyslík, ktorý sa dvoma elektrónmi redukuje na kyslíkový anión. Ten je následne elektrolytom transportovaný k anóde. Týmto aniónom sa redukuje na anódu privedený vodík, pričom vzniká voda a uvoľňujú sa elektróny. Tieto voľné elektróny sú potom transportované na katódu ako využiteľný elektrický prúd.

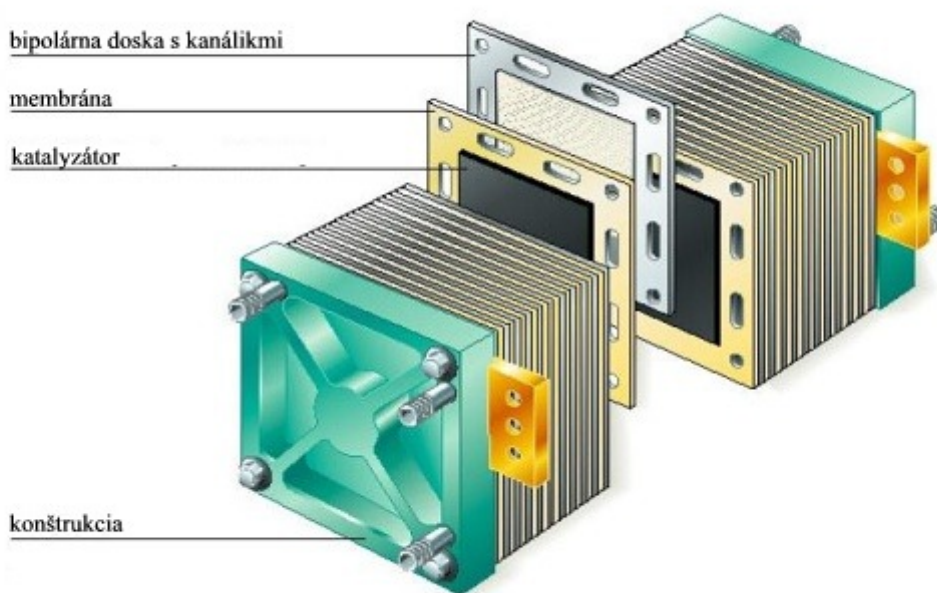
Chemické reakcie :

- Reakcia na anóde : $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- Reakcia na katóde : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- Celková reakcia : $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Jednotlivé typy PČ sa líšia materiálom elektród, použitým elektrolytom, pracovnou teplotou a chemickými reakciami na elektródach, avšak základný princíp premeny energie je pre všetky typy PČ rovnaký.

3.2 Základné komponenty PČ

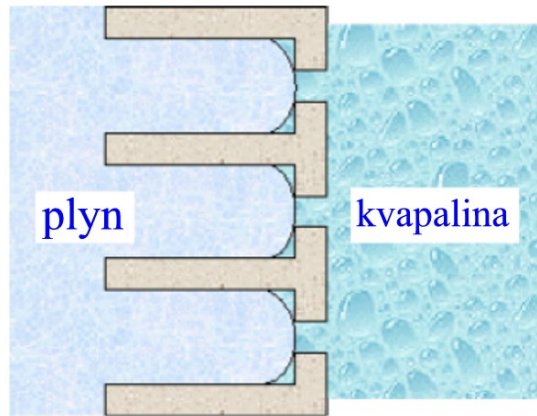
Palivový článok sa skladá z dvoch elektród oddelených elektrolytom alebo iónovomeničovou membránou. PČ sa skladajú do tzv. stackov (zväzky), jednotlivé články sú medzi sebou spojené bipolárnymi doskami .



Obrázok 5 : Uloženie palivových článkov do zväzku [14]

3.2.1 Elektródy

Na elektródach dochádza ku chemickým reakciám PČ. Palivo a okysličovadlo sa prevažne privádzajú do PČ vo forme plynu a preto je dôležité aby mali elektródy čo najväčšiu kontaktnú plochu. Elektróda a palivo sú zároveň v kontakte s elektrolytom, a tak vzniká oblasť, kde sa dotýkajú tri fázy – tzv. trojfázová hranica (viď obrázok 6). Na tejto hranici sa vodíkové elektróny uvoľňujú a kationy putujú do elektrolytu, resp. sa opätovne zlučujú s atómami kyslíku čím vzniká voda. Z tohoto dôvodu sú elektródy porézneho charakteru. Pretekaniu kvapalného elektrolytu cez poréznu štruktúru elektródy zabraňuje tlak dodávaného plynu.



Obrázok 6 : Schématický rez elektródou [1]

3.2.2 Katalyzátory

Katalyzátory majú funkciu spúšťať alebo urýchlovať chemické reakcie PČ, pričom sa reakciami sami neopotrebovávajú.

Ideálnymi materiálmi pre aktivitu vodíka v kyslom prostredí sú platina, paládium a nikel. Platina je tiež najvhodnejším katalyzátorom pre redukciu kyslíku. Pre správnu funkčnosť PČ je potrebná vrstva platiny na katalyzátore o obsahu 4 až 8 mg/cm². Takéto množstvo platiny článok predražuje, a preto sa pre jeho zníženie nanáša platina na uhlíkový základ, čím sa zníži obsah platiny až na 0,1 mg/cm².

V súčasnosti sa začínajú na výrobu PČ používať aj biotechnológie, keď sa miesto kovových katalyzátorov využívajú biologické enzýmy.

3.2.3 Bipolárne dosky

Bipolárne dosky sú umiestnené medzi jednotlivými článkami tvoriac zväzky, kde plnia viacero funkcií.

V prvom rade umožňujú kontakt medzi jednotlivými článkami a tak vedú elektrický prúd. Chladiace kanáliky odvádzajú odpadné teplo z reakcií. Palivové kanáliky slúžia na prepúšťanie paliva k elektródam článkov, a zároveň odvádzajú odpadné produkty reakcií. V poslednom rade slúžia aj na celkové utesnenie priestorov medzi článkami.

Bipolárne dosky sa vyrábajú z uhlíkových polymérov, poprípade z grafitu. Grafit disponuje výbornou elektrickou vodivosťou a korozivzdornosťou, avšak jeho pórovitá štruktúra spôsobuje prepúšťanie plyného paliva. Z tohoto dôvodu sa do grafitu pridávajú látky zvyšujúce jeho nepriepustnosť, čo však logicky zvyšuje náklady na jeho výrobu. Spomínané uhlíkové polyméry predstavujú oproti grafitu omnoho finančne únosnejšiu výrobu.

Napr. polypropylén, do ktorého sú pridané čiastočky z grafitu aby bola zlepšená elektrická vodivosť. Grafit tvorí 50% až 80% samotnej hmotnosti polyméru, čím sa menia aj jeho vlastnosti (napr. zvýšená krehkosť polyméru). So zvyšujúcim sa obsahom grafitu v polymére sa taktiež zvyšuje náročnosť jeho výroby, ako aj jeho konečná cena.

3.2.4 Elektrolyty

Elektrolyt je elektrický izolátor umožňujúci tok voľných elektrónov po obvode článku. Nachádza sa medzi anódou a katódou a vytvára medzi nimi elektrické napätie. Ak je palivom vodík, toto napätie dosahuje približne 1,23V. Požiadavky na elektrolyt sa sú rôzne, a to podľa typu článku. Pre všetky typy článkov sú však rovnaké požiadavky na dielektrickú schopnosť elektrolytu, a taktiež jeho odolnosť voči degradácii v prípade použitia uhlovodíkového paliva.

3.3 Rozdelenie palivových článkov

PČ sa v praxi rozlišujú podľa druhu použitého elektrolytu na šesť základných typov, ktoré sú podľa pracovnej teploty rozdelené do troch kategórií :

- PČ s nízkou pracovnou teplotou (od 60 do 120°C)
 - Alkalické PČ (*AFC* - Alkaline Fuel Cell)
 - Polymérové PČ (*PEMFC* – Polymer Elektrolyte Membrane Fuel Cell)
 - Metanolové PČ (*DMFC* – Direct Methanol Fuel Cell)
- PČ so strednou pracovnou teplotou (od 160 do 220°C)
 - PČ s kyselinou forforečnou (*PAFC* – Phosphoric Acid Fuel Cell)
- PČ s vysokou pracovnou teplotou (od 600 do 1000°C)
 - PČ s taveninou karbonátu (*MCFC* – Molten Carbonate Fuel Cell)
 - Keramické PČ (*SOFc* – Solid Oxide Fuel Cell)

4 Typy palivových článkov

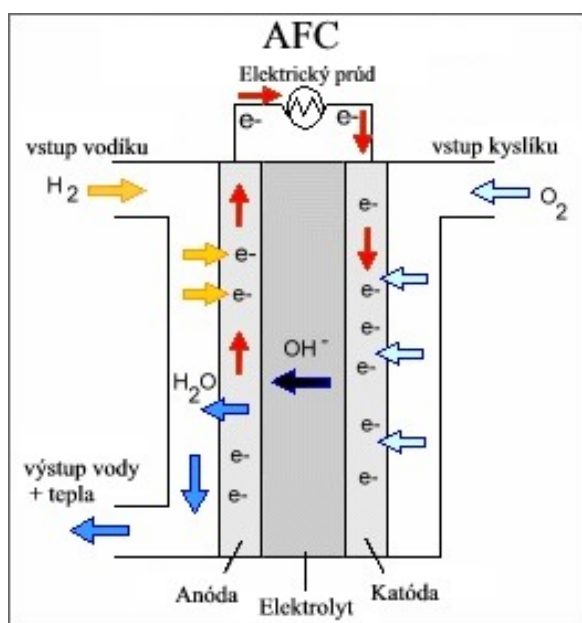
4.1 Nízkoteplotné

4.1.1 Alkalický palivový článok (AFC – Alkaline Fuel Cell)

Alkalické palivové články sú jedny z technologicky najvyspelejších. Vo svojich vesmírno – výskumných programoch ich používala NASA už od polovice 60. rokov 20. storočia, a to napríklad na výrobu elektriny nutnej k prevádzke riadiacich systémov na kozmickej lodi a na výrobu pitnej vody pre kozmonautov.

AFC generovaním elektriny s účinnosťou až skoro 70% patria medzi tie najúčinnšie.

AFC ako elektrolyt používajú alkalickú zmes hydroxidu draselného (KOH), ktorá je v pórovitej stabilizovanej forme. Koncentrácia KOH je premenlivá v závislosti od pracovnej teploty PČ, ktorá je v rozmedzí 65°C - 220°C, čím tento PČ patrí medzi nízkoteplotné. Nositeľom elektrického prúdu pre AFC je hydroxidový ión (OH^-) ktorý prestupuje z katódy na anódu, kde reaguje s čistým vodíkom a tým produkuje vodu a elektróny. Voda vyprodukovaná na anóde potom putuje naspäť na katódu za účelom generovania ďalších hydroxidových iónov. Tieto reakcie produkujú v AFC elektrinu a teplo ako vedľajší produkt.



Obrázok 6 : Alkalický palivový článok [9]

Reakcie AFC:

Reakcie na anóde : $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Reakcie na katóde : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

Celková reakcia : $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Charakteristická pre AFC je ich citlivosť na CO_2 prítomného vo vzduchu. CO_2 reaguje s elektrolytom a značne ho poškodzuje, čím znižuje celkovú účinnosť článku. Z tohoto dôvodu sa AFC môžu používať len v prostredí, kde nie je prítomný vzduch (vo vesmíre, pod vodou). Ako okysličovadlo slúži čistý kyslík (O_2), a ako palivo čistý vodík (H_2). Ďalšie látky poškodzujúce AFC sú CO alebo CH_4 , ktoré sú pre iné typy PČ neškodné.

Výhody :

- vďaka možnosti použitia akéhokoľvek cenovo prijateľného katalyzátoru, sú AFC najlacnejšie na trhu s PČ
- rýchle spustenie
- nízka pracovná teplota
- vysoká účinnosť
- malá hmotnosť a malý objem
- minimálna korózia konštrukčných materiálov
- jednoduchá prevádzka
- minimálna spotreba katalyzátoru

Nevýhody :

- citlivosť na CO_2 , CO , CH_4
- krátka životnosť

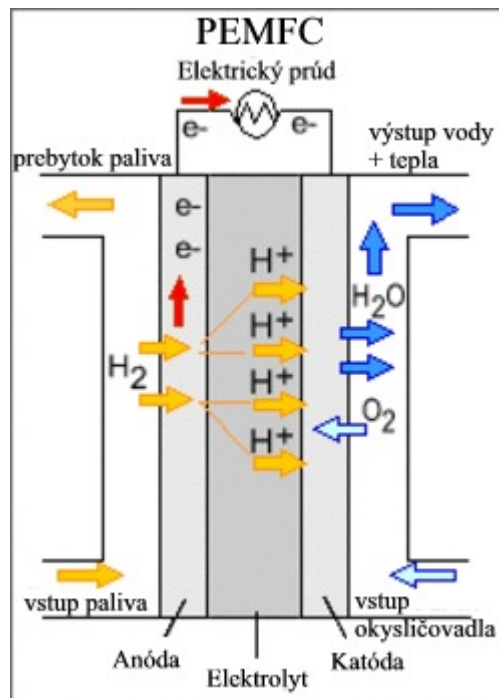
4.1.2 Polymérové palivové články (PEMFC –Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells)

Tento typ PČ bol vynájdený už v roku 1959 W. T. Grubbsem, a prvýkrát ho použila NASA vo svojom programe Gemini v 60. rokoch. V súčasnosti sú PEMFC vyvíjané pre systémy o výkone 1W – 10KW.

PEMFC používajú ako elektrolyt pevnú polymerickú membránu v tvare tenkého plastického filmu. Tento polymér sa napúšťa vodou, čo zabraňuje priechodu elektrónov, ale zároveň je priepustný pre protóny.

Palivom pre PEMFC je vodík a ako nosič napätia mu slúži vodíkový ión (protón). Na anóde je molekula vodíku rozštiepená na vodíkové ióny a elektróny. Vodíkové ióny putujú elektrolytom ku katóde, kým elektróny prúdia vonkajším elektrickým obvodom a vytvárajú elektrickú energiu.

Kyslík, obvyčajne vo forme vzduchu, je dodávaný na katódu a reaguje s elektrónmi a iónmi vodíka, čím vzniká voda.



Obrázok 7 : Polymérový palivový článok [9]

Reakcie PEMFC:

Reakcia na anóde : $\text{H}_2 + \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Reakcia na katóde : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Celková reakcia : $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Výhody :

- V porovnaní s ostatnými typmi PČ, PEMFC generujú väčšie množstvo energie v závislosti na ich objeme a hmotnosti. Táto vysokoenergetická hustotná charakteristika robí z PEMFC kompaktné a ľahké zariadenie.
- Pracujú do teploty pod 100°C, čo umožňuje ich rýchle spúšťanie do prevádzky. Taktiež sú vďaka svojej nízkej pracovnej teplote schopné rýchlo a rapídne meniť energetický výkon.
- Ďalšie výhody vyplývajú z pevného charakteru ich elektrolytu. Tesnenie elektródových plynov je pri použití pevného elektrolytu jednoduchšie, a to sa v pozitívnom zmysle odráža na výrobných nákladoch. Pevný elektrolyt je tiež menej citlivý na koróziu, a tak v porovnaní s inými typmi elektrolytov vytvára lepšie podmienky pre dlhú životnosť článku.

Tieto schopnosti robia z PEMFC vrcholného kandidáta pre využitie v automobilovom priemysle, a taktiež sa uplatňujú v značnej miere aj v odvetví mikro kogenerácie.

Nevýhody :

- Nízke teploty zabraňujú efektívnemu využitiu PEMFC v kogeneračných systémoch
Pozn.: V súčasnosti sú už vynájdené známe tzv. HTPEM – vysokoteplotné polymerické PČ, ktoré umožňujú kogeneráciu
- Keďže sa používa elektrolyt nasýtený vodou, je nevyhnutná pravidelná kontrola vlhkosti elektród
- Používajú drahé platinové katalyzátory

4.1.3 Metanolový palivový článok (DMFC – Direct Methanol Fuel Cell)

Priame methanolové PČ boli vynájdené začiatkom 90. Rokov 20. Storočia. Ich technológia je zatiaľ iba v rannej fáze vývoja, ale už bola úspešne testovaná v prevádzke mobilných telefónov ako aj laptopov. To by mali byť aj hlavné potenciálne sféry ich využitia.

Polymerickým charakterom ich elektrolytu je tento typ PČ podobný PEMFC. Taktiež majú oba typy rovnaký nosič napätia – vodíkové ióny.

Tekutý methanol (CH_3OH) je oxidovaný za výskytu vody na anóde generujúc CO_2 , vodíkové ióny a elektróny. Elektróny potom obiehajú vonkajším obvodom a vytvárajú elektrický prúd. Vodíkové ióny putujú elektrolytom a za vzniku vody reagujú s kyslíkom zo vzduchu, ako aj s elektrónmi z elektrického obvodu, čím sa uzatvára obvod článku.

Reakcie DMFC :

Reakcia na anóde : $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$

Reakcia na katóde : $\frac{3}{2} \text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$

Celková reakcia : $\text{CH}_3\text{OH} + \frac{3}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Spočiatku tento typ PČ nebol výtanný, a to najmä kôli jeho nízkej účinnosti a nedostatočnej energetickej hustote. Až zdokonalvanie katalyzátorov a iné vývojové trendy viedli k zlepšeniu oboch týchto dôležitých vlastností. Účinnosť sa tak zvýšila až na 40%.

DMFC boli testované v teplotnom rozmedzí 50 - 120°C. Táto nízka pracovná teplota a nezávislosť od palivového reforméru z DMFC robia vynikajúceho kandidáta na použitie vo veľmi malých až stredne veľkých aplikáciách (mobilné telefóny, automobily).

Výhody :

- Možnosť využitia tekutého paliva
- Schopnosť prevádzky bez palivového reforméru

Nevýhody:

- Nevyhnutnosť aktívnejšieho katalyzátora (finančne náročný platinový katalyzátor), vyplývajúca z nízкотеплотnej oxidácie methanolu na vodíkové ióny a CO_2
- Toxický charakter methanolu

Niektoré spoločnosti vzhľadom na toxický charakter methanolu začali s vývojom DEFC (direct ethanol fuel cell) – priame ethanolové PČ. Ich výkon je v súčasnosti v porovnaní s DMFC polovičný, ale tento rozdiel by sa mal s ďalším priebehom ich vývoja značne zúžiť.

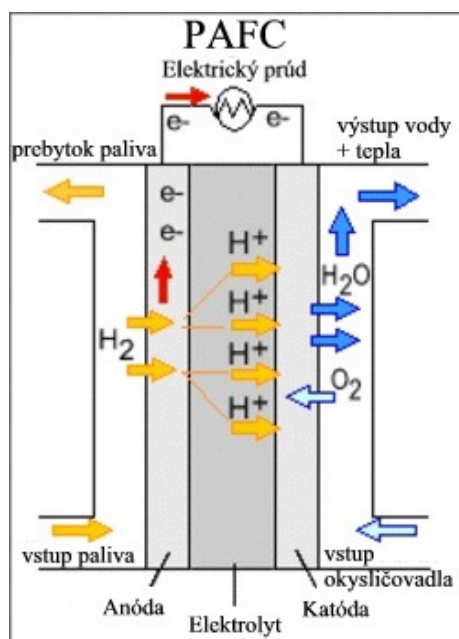
4.2 Strednetepločné

4.2.1 Kyslý palivový článok (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cells)

PAFC boli vyvinuté v 60. rokoch a v praxi odskúšané v 70. Rokoch 20. Storočia. Od tej doby boli výrazne zlepšené ich vlastnosti, najmä ich výkonnosť a spoľahlivosť pri prevádzke. A keď sa k týmto vlastnostiam pridala aj ich pomerne dobrá cena, stali sa PAFC prvými komerčne využívanými PČ, a to v 90. Rokoch 20. storočia.

Ako elektrolyt slúži u PAFC kyselina fosforečná (H_3PO_4). Jej iónová vodivosť je pri nízkych teplotách slabá, a preto PAFC pracujú pri teplotách v rozmedzí 150°C – 220°C , čím sa radia medzi strednetepločné PČ.

Ako palivo sa používa vodík (H_2), a ako okysličovadlo kyslík (O_2), obyčajne získavaný zo vzduchu.



Obrázok 8 : Kyslý palivový článok [9]

Reackie PAFC:

Reakcia na anóde : $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Reakcia na katóde : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Celková reakcia : $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Výhody :

- Vysoká účinnosť pri použití v kogeneračných aplikáciách
- CO_2 nepoškodzuje elektrolyt a ani nijak neovplyvňuje výkonnosť článku, čo im umožňuje využívať reformované fosílné palivá
- Jednoduchá konštrukcia
- Dlhodobá spoľahlivosť v prevádzke

Nevýhody:

- Korózia konštrukčných materiálov
- Problematická manipulácia s článkom kôli jeho používaniu tekuteého elektrolytu
- Sú značne citlivé na obsah zlúčenín síry v palive
- Obmedzený obsah CO v palive – max. 2%

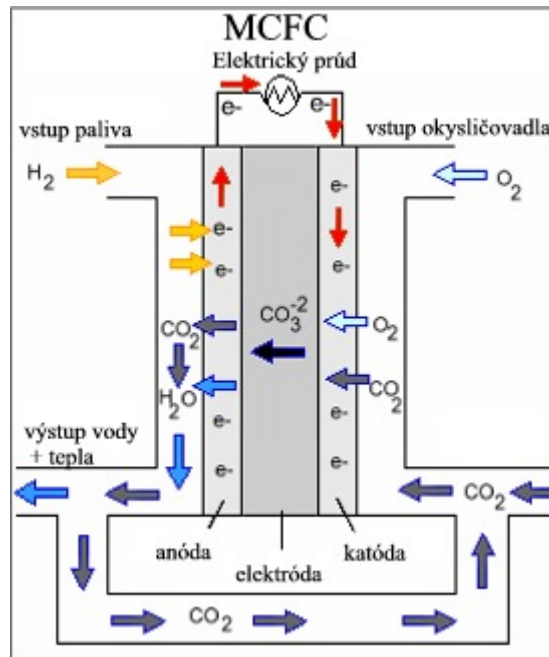
PAFC generujú elektrinu s účinnosťou vyše 40%. Účinnosť kogeneračných jednotiek s použitím PAFC sa pohybuje okolo 85% . Zbytkové teplo sa dá využiť na ohrev vody, alebo na výrobu pary atmosférického tlaku.

4.3 Vysokoteplotné

4.3.1 Palivové články s uhličitanovou taveninou (MCFC-Molten Carbonate Fuel Cell)

V PČ s roztavenými uhličitanmi, sú ako elektrolyt použité uhličitanové soli. Ohrievané na 650°C , sa tieto soli roztavia a sú schopné viesť uhličitanové ióny (CO_3) od katódy k anóde. Na anóde vodík reaguje s iónmi a tým vytvára vodu, CO_2 , a elektróny. Elektróny putujú elektrickým obvodom produkujúc elektrický prúd, a následne sa vracajú na katódu. Na katóde potom kyslík získavaný zo vzduchu a CO_2 vytvorený na anóde reagujú s týmito elektrónmi, čím vzniknú ióny CO_3 , ktoré dopĺňajú elektrolyt a vedú elektrický prúd cez PČ.

Vysokoteplotné MCFC dokážu získavať vodík z rozličných palív, pričom na ich získavanie používajú buď externý alebo interný reformátor. MCFC sú taktiež menej náchylné na poškodenie iónmi CO ako nízkoteplotné PČ. V tomto type PČ je používaný niklový katalyzátor, ktorý je omnoho lacnejší ako napríklad platinový. MCFC pracujú s 60% účinnosťou, a pri využití zbytkového tepla v kogenerácii sa ich účinnosť môže vyšplhať až na 80%.



Obrázok 9 : Palivový článok s uhličitanovou taveninou [9]

Reakcie MCFC:

Reakcie na anóde: $\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2\text{e}^-$

Reakcie na katóde: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-}$

Celková reakcia: $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Výhody :

- možnosť interného reformingu zemného plynu, bez potreby externého reformingového zariadenia
- využitie štandardných konštrukčných materiálov
- rýchly priebeh reakcií
- vysoké účinnosti reakcií
- možnosť využitia prebytočného tepla napr. na generáciu vysokotlakej pary

Nevýhody:

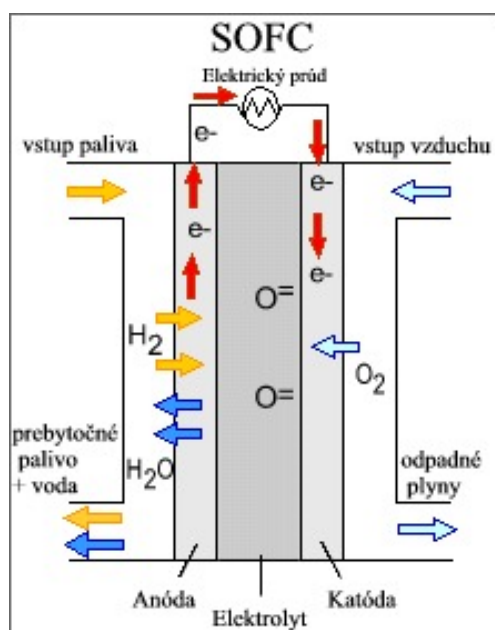
- zdĺhavé nabíehanie na pracovné podmienky
- pomalé reakcie na pracovné zmeny
- elektrolyt na bázi uhličitanu spôsobuje koróziu elektród
- vysoké materiálové požiadavky
- značná citlivosť na síru

4.3.2 Keramické palivové články (SOFC-Solid Oxide Fuel Cell)

Palivové články na bázi pevných oxidov pracujú s vysokými teplotami. Ich pracovná teplota sa pohybuje v rozmedzí 600°C – 1000°C. Vďaka tomu tento typ PČ môže využívať niekoľko druhov paliva. Elektrolytom je pevný keramický materiál na bázi oxidu zirkoničitého (ZrO_2) stabilizovaného oxidom yttriovým (Y_2O_3), ktorý dobre vedie kyslíkové ióny (O^{2-}).

Začiatky vývoja SOFC sa datujú do 50. Rokov 20. Storočia. Skúmajú sa dva typy zostáv – trubicový a plošný.

Nosičom elektrického napätia je kyslíkový ión (O^{2-}). Na katóde sa molekuly kyslíku zo vzduchu štiepia na kyslíkové ióny so štyrmi elektrónmi. Kyslíkové ióny sa elektrolytom prenášajú k anóde, kde reagujú s vodíkom, pričom sa uvoľňujú 4 elektróny. Tieto elektróny potom putujú vonkajším elektrickým obvodom a zaobstarávajú elektrický prúd a teplo.



Obrázok 9 : Keramický palivový článok [9]

Reackie SOFC:

Reakcia na naóde : $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Reakcia na katóde : $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$

Celková reakcia : $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

Výhody :

- Vysoká účinnosť generovania elektrickej energie – pohybuje sa až okolo 60%
- produkcia vysokopotenciálneho tepla
- možnosť využívania i relatívne nečistých palív (napr. plyny z priemyselných procesov)

Nevýhody:

- zdĺhavé nabíehanie na pracovné podmienky (dosiahnutie vysokých teplôt)
- pomalé reakcie na zmeny pracovné zmeny
- nutnosť použitia konštrukčných materiálov odolných vysokým teplotám – zvýšené náklady na materiál

Tabulka 1: Prehľad typov palivových článkov

Skupina	Nízkoteplotné			Stredneteplotné	Vysokoteplotné	
Typ PČ	<i>AFC</i>	<i>PEMFC</i>	<i>DMFC</i>	<i>PAFC</i>	<i>MCFC</i>	<i>SOFC</i>
Elektrolyt	Hydroxid draselný	Iónovomenníková membrána	Iónovomenníková membrána	Kyselina fosforečná	Tavené karbonáty lithia, vodíka, draslíka	Oxid zirkoničitý s prímiesami yttria
Pracovná teplota (°C)	65 - 220	20 - 80	20 - 130	170 - 250	600 - 650	800 - 1000
Prúdiace ióny	OH^-	H^+	H^+	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}
η_e (%)	45 - 70	40 - 60	40	38 - 45	45 - 60	50 - 65
P (kW)	do 20	do 250	do 10	50 - stovky kW	do niekoľko MW	do niekoľko MW
Palivo	Vodík	Vodík, Reformované palivá	Methanol (Ethanol)	Vodík, Reformované palivá	Vodík, Nepriame palivá	všetky druhy bez reformovania
Možné aplikácie	Vesmír, program	Automobilový priemysel, výr. energií	Mobilné telefóny, Laptopy	univerzálne	výroba energií	výroba energií

5 Palivo a jeho spracovanie

Ako palivo pre PČ je v najväčšej miere používaný čistý vodík, ktorý v PČ reaguje priamo s okysličovadlom, pričom vzniká voda a elektrický prúd.

Vodík chápeme ako nositeľa veľmi kvalitnej energie (1kg vodíku má približne rovnaký energetický obsah ako 4 l benzínu), avšak nie ako jej zdroj. Vodík sa na zemi samostatne prakticky nevyskytuje, nachádza sa vždy iba v nejakej zlúčenine, z ktorej sa musí separovať. To znamená že vodík môže byť vyrobený z rôznych zdrojov energie. Taktiež sa vodík dá získať pomocou iných nositeľov energie – napr. elektrinou počas elektrolýzy vody alebo teplom počas termochemickej reakcie.

Výhody vodíka ako paliva:

- Je to čisté a veľmi kvalitné palivo
- Vodík je využiteľný pre uskladňovanie energie, čo môže riešiť problém diskontinuálnej dostupnosti väčšiny obnoviteľných zdrojov

Vodík sa pre bežné aplikácie uskladňuje :

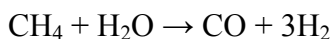
- v tlakových nádobách
- v metalhydridoch
- kryogénne (skvapalnený)
- adsorbčne na vláknach čo najväčšieho povrchu

Veľmi nízka váha vodíku a z toho vyplývajúci veľký objem v plynnom stave vedú k problémom s uskladňovaním vodíka. Kôli týmto problémom sa začali používať PČ využívajúce vodík chemicky obsiahnutý v methanole. Na oddelovanie vodíka zo štruktúry methanolu sa používa reformátor aplikujúci reformné procesy (ďalej popísané). Takéto palivá s obsahom methanolu sa nazývajú tzv. nepriame palivá, medzi ktoré sa radia napr. etanol, metán a zemný plyn. Reformáciou týchto palív (vodnou parou alebo parciálnou oxidáciou) vzniká vodík a oxidy uhlíka.

5.1 Reforming zemného plynu

Zemný plyn obsahuje až 98% metanu(CH₄), ktorý má veľmi priaznivý pomer atómov vodíku k atómom uhlíku 4:1. To znamená nižšiu produkciu odpadného oxidu uhličitého. Ako najekonomickejším riešením separácie vodíka sa do dnešnej doby ukazuje byť parný reforming zemného plynu.

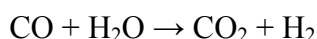
Reforming zemného plynu je priemyselne rozvinutý proces pre produkciu vodíku. Základom parného reformingu zemného plynu je reakcia metánu s vodou :



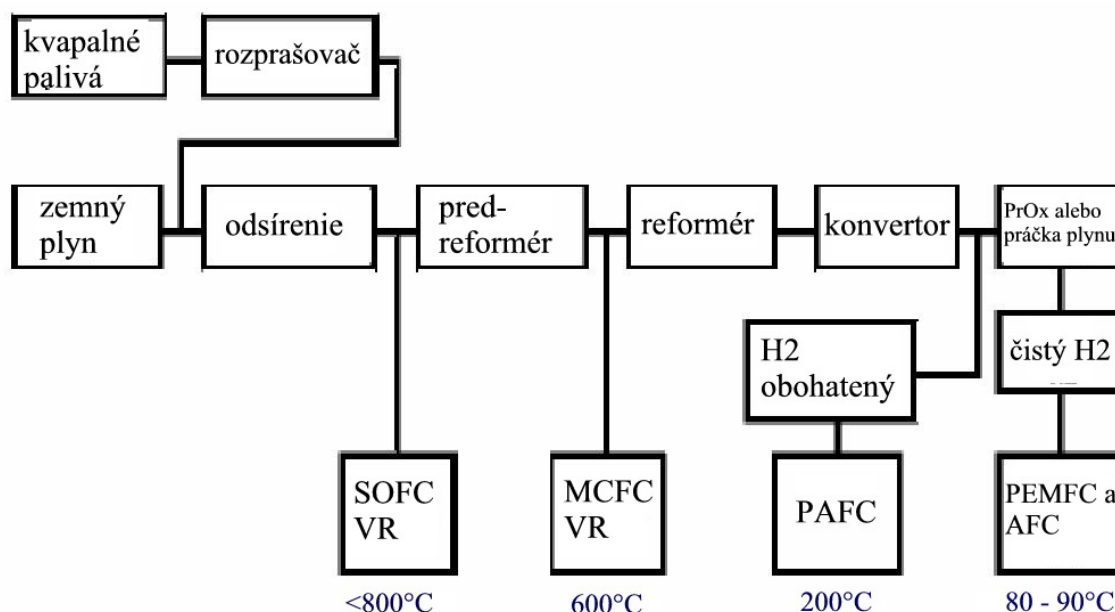
Ako parný reforming vyšších uhlíkovodíkov alebo alkoholov (benzín, nafta, methanol), je reakcia vody s metánom silne endotermická s entalpiou + 206,3 kJ/mol pri teplote približne 800°C. Potrebné teplo sa získava spalovaním paliva, ktoré nezreagovalo v PČ behom elektrochemickej reakcie.

Vďaka vysokej pracovnej teplote a nízkym tlakom je stupeň reakcie vysoký a tvorí sa veľké množstvo vodíka. Vznik reakčných produktov je ovplyvnený termodynamickou stabilitou reakcie vody s metánom.

Vzniknutý oxid uhoľnatý potom reaguje v konvertore s vodnou parou, čím vzniká oxid uhličitý a vodík. Táto reakcia je mierne exotermická, prebieha pri teplote 200°C.



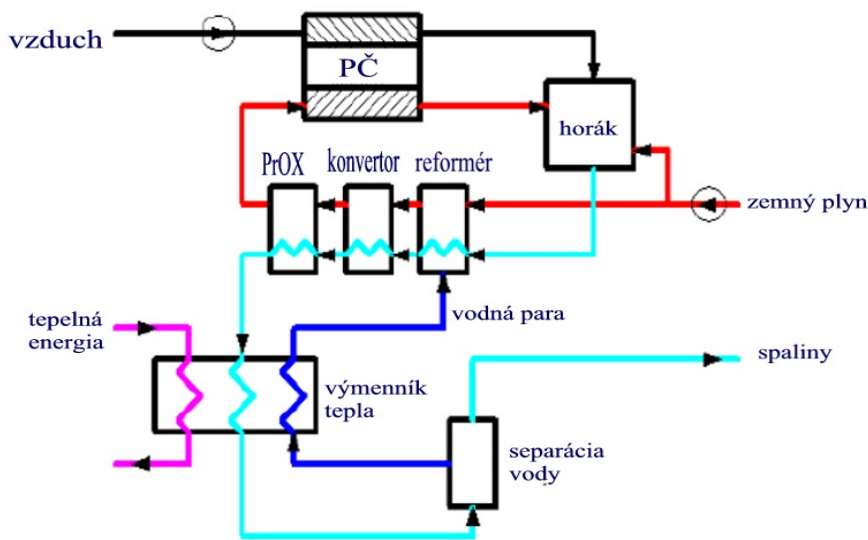
V kontexte s rozvojom PČ je už dlhé roky známe, že teplo produkované elektrochemickou reakciou v PČ je využiteľné pre podporu reformingu zemného plynu. Toto zistenie viedlo k množstvu konceptov vnútorného reformingu zemného plynu, ktoré sa zaviedli vo vysokoteplotných PČ (SOFC, MCFC). So zvyšujúcou sa pracovnou teplotou jednotlivých typov palivových článkov klesá náročnosť úpravy paliva (viď obrázok 10).



Obrázok 10 : Závislosť koncepcie úpravy paliva na type PČ [1]

- Odsírenie : $\text{Zn} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} + \text{H}_2\text{O}$
- Reakcia v predreformére a reformére : $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$
- Reakcia v konvertore : $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- Reakcia v PrOx reaktore : $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Nízokoteplotné PČ majú najväčšie náklady na reforming, pretože potrebujú externé reformingové a iné zariadenia na úpravu paliva.



Obrázok 11 : Schéma systému prípravy a reformingu paliva [1]

Vnúťorný reforming sa rozdeľuje do dvoch variant, priamy vnúťorný reforming a nepriamy vnúťorný reforming.

Pri nepriamom vnúťornom reformingu (NVR) prechádza metán na reformingový katalyzátor, ktorý je v tepelnom, ale bezdotykovom kontakte so zväzkom PČ.

NVR môže byť zrealizovaný doskovým reformérom v kontakte so zväzkom palivových článkov. Reformát z každej dosky je odovzdávaný do sústavy PČ. Táto forma reformingu sa taktiež dá zrealizovať aplikáciou reformingového katalyzátoru v dodávke plynu pre každý článok zo zväzku PČ.

Tepelný kontakt medzi reformérom a sústavou PČ má pozitívny efekt, kým často je nevýhodou, že značné množstvo reakčného tepla z elektrochemickej reakcie palivového článku môže byť odovzdané iba tými článkami, ktoré sú v bezprostrednej blízkosti reforméru.

Pri priamom vnúťornom reformingu (PVR) prebieha reformingová reakcia vo vnútri anódy palivového článku. V prípade MCFC je toto uskutočnené aplikáciou reformingového katalyzátoru do kanálikov PČ. V prípade SOFC je pracovná teplota taká vysoká, že sa reforming zemného plynu môže vykonávať priamo na anóde článku.

Výhody PVR oproti NVR alebo oproti vonkajšiemu reformingu vyplývajú z priameho tepelného prenosu medzi sústavou PČ a reformingovou zónou ako aj z vysokého stupňa zlúčenia chemikálií. Vodná para ako produkt elektrochemickej reakcie v článku môže byť priamo spojená ako základný produkt reformingovej reakcie, takže pre reforming musí byť vyprodukované menšie množstvo vodnej pary ako je tomu pri NVR, čo zlepšuje elektrickú účinnosť.

Množstvo tepla vyprodukovaného elektrochemickou reakciou v palivovom článku predstavuje približne dvojnásobok spotreby tepla reformingovou reakciou. Dobrý prenos tepla medzi reformérom a článkom v PVR procese značne zjednodušuje ochladzovanie palivového článku, ktoré je realizované jednoduchým prechodom plynu cez článok.

Iné výhody PVR oproti NVR a najmä voči externému reformingu sú :

- znížené finančné náklady, keďže nieje potrebný externý reformingový aparát
- rovnomernejšia tvorba vodíku, čo vedie k stálejšej dodávke tepla
- vyšší stupeň premeny metánu

Avšak vnútorný reforming taktiež so sebou prináša aj určité nevýhody:

- Technické vybavenie sústavy PČ musí byť upravené pre možnosť zapojenia katalyzátorov do procesu reformingu
- Reformingové katalyzátory sa môžu zmiešavať s nečistotami v palive a tým strácať svoju účinnosť
- Zapojenie dvoch procesov – elektrochemickej reakcie a reformingu – môže ubrať z flexibility chodu palivového článku
- Úplný vnútorný reforming môže viesť k uhlíkovým usadeninám v oblasti anódy, čo vedie k strate účinnosti reformingového katalyzátoru
- Silné teplotné namáhanie materiálov palivového článku – vysoké teplotné gradienty stúpajú v oblasti vstupu paliva kôli značnému chladiacemu efektu reformingového procesu

Tieto problémy môžu byť potlačené, ak sa časť zemného plynu predreformuje v oddelenom reakčnom aparáte. Pomer medzi vnútorným reformingom a prereformingom musí byť zvolený na základe experimentálnych výsledkov.

6 Technicko – ekonomické zhodnotenie mikrokogeneračnej jednotky s palivovým článkom

V tejto kapitole sa budem zaoberať vhodnosťou nasadenia mikrokogeneračnej jednotky (mKJ) s palivovým článkom do daného objektu. Budem porovnávať ekonomickú výhodosť či nevýhodosť nasadenia jednotky oproti oddelenej dodávke elektrickej a tepelnej energie.

Kogenerácia, alebo inými slovami kombinovaná výroba energií, je spoločná postupná alebo súčasná produkcia konečných foriem energií (tepelnej a elektrickej) premenených z primárnej formy energie.

mKJ môže pracovať v nasledujúcich režimoch :

- Režim sledovania tepelného výkonu
- Režim sledovania elektrického výkonu
- Režim kombinovanej prevádzky
- Ostrovný režim

Pri prevádzke v *režime sledovania tepelného výkonu* sa prispôsobuje využívaný tepelný výkon KJ tepelným potrebám objektu. Riadiacou veličinou je obvykle teplota (teplota prostredia, teplota v akumuláčnom zásobníku, apod.). Ak je množstvo vyrobenej elektrickej energie vyššie než je potreba objektu, je prebytočná el. energia dodávaná do elektrizačnej sústavy.

Pri prevádzke v *režime sledovania elektrického výkonu* množstvo vyrábanej el. energie kopíruje potreby el. en. daného objektu. Ak je v objekte potreba tepelnej energie vyššia ako je KJ pri takomto režime schopná dodávať, musí byť použitý doplnkový zdroj tep. energie. V prípade že vyrobené množstvo tep. energie presahuje potreby objektu, vznikajú straty v podobe nevyužitého tepla.

Pri *režime kombinovanej prevádzky* pracuje KJ v striedavom sledovaní el. alebo tep. výkonu. Kritériom pre preferovanie sledovania potreby niektorej z energií býva cena paliva (zemného plynu), cena elektrickej energie, možnosť zaťažovania jednotky apod.

Pri *ostrovnom režime* prevádzky KJ sú celkovo pokrývané energetické potreby objektu, a to bez spolupráce s elektrizačnou sústavou. Pri tomto režime sa vyskytuje nutnosť inštalácie záložného tepelného a elektrického zdroja, ktoré sú nasadzované v prípade údržby alebo celkovej opravy KJ.

V nasledujúcich podkapitolách bude analyzované nasadenie KJ jednotky najprv pri režime sledovania tepelných potrieb objektu (rodinný dom), a následne v ostrovnom režime pokrývania objektu s ekvivalentnými energetickými požiadavkami voči vyrobeným energiám kogeneračnou jednotkou. Pri druhom prípade nasadenia bude KJ s PČ porovnávaná nielen s oddelenou dodávkou energií, ale i s kogeneračnou jednotkou používajúcou technológiu spalovacieho motoru.

6.1 Posúdenie nasadenia kogeneračnej jednotky s palivovým článkom do rodinného domu v režime sledovania tepelného výkonu

V bytovej sfére vo všeobecnosti vykazuje spôsob sledovania tepelného výkonu najväčšie úspory paliva. Pre jeho posúdenie som zvolil nasadenie KJ do konkrétneho domu (ďalej popísaný), kde som zvolil prepojenie KJ s akumulacnou nádržou tepla.

6.1.1 Popis lokality a energetický parametrov rodinného domu

Pre posúdenie ekonomie inštalácie bol zvolený rodinný dom, ktorý je situovaný v obci Ludíkov v Jihomoravskom kraji, 8 km juhovýchodne od mesta Boskovice v nadmorskej výške 607 m.n.m. Tepelná strata objektu je 15,3 kW.

Lokalita : Ludíkov (Boskovice, Jihomoravský kraj) []

Ročná spotreba elektrickej energie rodinného domu

Ročná spotreba elektrickej energie podľa faktúry za rok 2007 činí: **4 801 kWh**.

Spotreba RD v pásme VT(vysoký tarif) : 3,422 MWh

Spotreba RD v pásme NT(nízky tarif) : 1,379 MWh

Ročná spotreba tepla rodinného domu :

A) Spotreba tepla pre vykurovanie

$t_e = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vonkajšia výpočtová teplota)

$t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (stredná denná vonkajšia teplota pre začiatok a koniec vykurovacieho obdobia)

$t_{es} = 3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (priemerná teplota behom vykurovacieho obdobia)

$t_{is} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ (priemerná vnútorná výpočtová teplota)

$d_{VYK} = 241\text{ dní}$ (doba vykurovacieho obdobia)

$Q_c = 15,3\text{ kW}$ (tepelná strata objektu)

Vykurovanie jednostupne

$$D = d_{VYK} \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3\,687\text{ [K]} \cdot \text{dni}$$

Opravné súčinitele a účinnosti systému

$$e_i = 0,85 \quad \eta_o = 0,95$$

$$e_t = 0,90 \quad \eta_r = 0,95$$

$$e_d = 1,00$$

Opravný súčiniteľ

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,85 \cdot 0,90 \cdot 1,00 = 0,765$$

$$Q_{VYK,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} \cdot t_e)} \cdot 0,0036 = 121,5\text{ GJ/rok (33,8 MWh/rok)}$$

B) Spotreba tepla pre ohrev TUV

$$\begin{aligned} t_1 &= 12\text{ }^{\circ}\text{C} & \rho_{\text{vody}} &= 1000\text{ kg/m}^3 \\ t_2 &= 65\text{ }^{\circ}\text{C} & c_{\text{vody}} &= 4\,186\text{ J/kgK} \end{aligned}$$

$z = 0,5$ (koeficient energetických strát systému)

denná spotreba tepla pre ohrev TUV:

$$Q_{\text{TUV},d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = \mathbf{13,9\text{ kWh}}$$

$t_{\text{SVL}} = 15^{\circ}\text{C}$ (teplota studenej vody v lete)

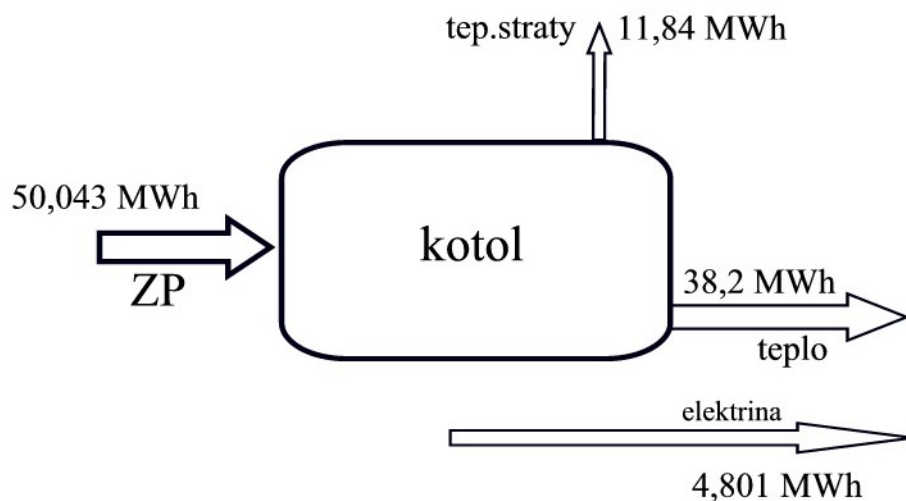
$t_{\text{SVZ}} = 5^{\circ}\text{C}$ (teplota studenej vody v zime)

$N = 365$ dní (počet dní sústavy v roku)

$$Q_{\text{TUV},r} = Q_{\text{TUV},d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{\text{TUV},d} \cdot \frac{t_2 - t_{\text{SVL}}}{t_2 - t_{\text{SVZ}}} \cdot (N - d) = \mathbf{16,2\text{ GJ/rok (4,5 MWh/rok)}}$$

Celková ročná spotreba tepla RD

$$Q_r = Q_{\text{VYK},r} + Q_{\text{TUV},r} = 121,5\text{ GJ/rok} + 16,2\text{ GJ/rok} = \mathbf{137,7\text{ GJ/rok (38,2 MWh/rok)}}$$



Obrázok 12: Energetická bilancia rodinného domu pri oddelenej dodávke energií

6.1.2 Popis mikrokogeneračnej jednotky

Mikrokogeneračná jednotka Gensys Blue od firmy Plug Power

KJ Gensys Blue používa technológiu vysokoteplotných polymérových palivových článkov (HTPEM). Vysokoteplotné PEM pracujú pri teplote 160 – 180°C. Ako elektrolyt používajú kyslý polybenzimidazol (PBI).

HTPEM tolerujú množstvo CO v hodnotách až 50 000 PPM (parts per milion) a H₂S v hodnotách 10 PPB (parts per billion), zatiaľ čo nízokoteplotné PEM tolerujú CO len v množstve menšom než 10 PPB a H₂S v množstve 100 PPB.

Palivový článok vyrába jednosmerný elektrický prúd, a preto je nutnou súčasťou zariadenia aj menič prúdu, v ktorom sa jednosmerný prúd mení na využiteľný striedavý prúd. Ďalšou dôležitou súčasťou jednotky je aj externý reformátor paliva, keďže daný typ PČ – HTPEM – pracuje pri teplote cca. 180°C, a teda nedisponuje teplotou pre úpravu zemného plynu na vodík (minimálna teplota na reforming ZP je 700°C). Týmto nutnými súčasťami KJ s PČ sa logicky navyšujú investičné náklady na kúpu jednotky.



Obrázok 13: Gensys Blue od firmy Plug Power [7]

Náklady na kúpu a servis mKJ :

a) Investičné náklady na mKJ

Cena KJ :	391 845 Kč
Cena s DPH :	466 296 Kč
Inštalčné náklady :	cca. 5 000 Kč

Celkové náklady : cca. **471 296 Kč**

b) servisné náklady mKJ

Výrobca udáva náklady na potrebnú údržbu samotnej jednotky v rozmedzí 5 000 až 7 000 Kč za každý rok prevádzky.

V tomto prípade, keď je KJ namáhaná regulovanou prevádzkou, budem uvažovať sumu **7 000 Kč.**

Technické parametre Plug Power Gensys Blue

Plug Power Gensys Blue		
elektrický výkon	4,6	kW
max. tepelný výkon	9	kW
príkon v palive	15,3	kW
účinnosť elektrická	30	%
účinnosť tepelná	55	%
účinnosť celková	85	%
použité palivo	ZP	-
rozmery	101x71x122	cm
hmotnosť	250	kg
cena (bez DPH)	391 845	Kč

6.1.3 Popis inštalácie mikrokogeneračnej jednotky v rodinnom dome

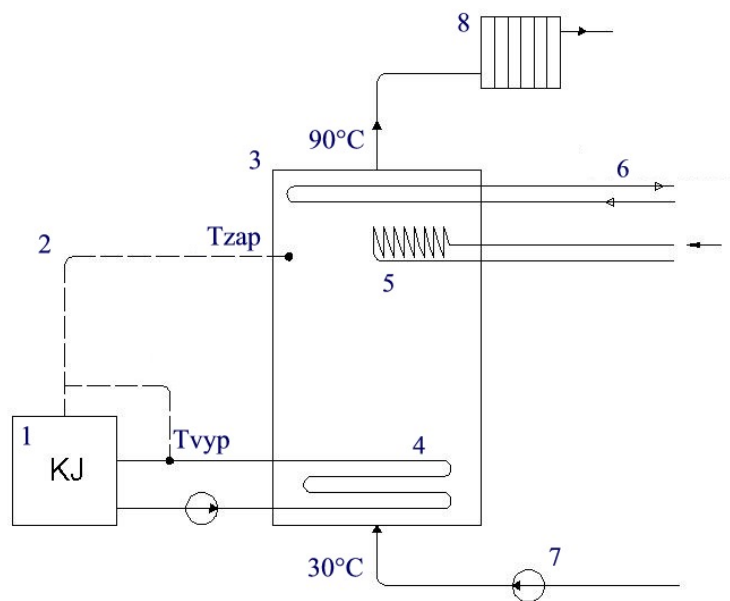
Zvolil som variantu prevádzkového režimu so sledovaním tepelných potrieb rodinného domu, a to tak, že na KJ bude napojená akumulčná nádrž s regulačným systémom napojeným na kogeneračnú jednotku. KJ bude vypínaná a zapínaná podľa potrieb dokurovania tepelnej akumulčnej nádoby s vodou.

Kogeneračná jednotka s PČ má pomerne dlhú dobu nabiehania(až 30 minút). To znamená, že intervaly zapínania a vypínania by nemali byť také časté, a to aj z dôvodu skracovania životnosti jednotky. Je potrebné preto spočítať adekvátny objem akumulčnej nádrže. K tomu mi poslúžila kalorimetrická rovnica.

$$Q_{AK} = \rho \cdot V \cdot c_p^{H_2O} \Delta t$$
$$Q_{AK} = 1000[kg \cdot m^{-3}] \cdot 1[m^3] \cdot 4180[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}] \cdot 60[K]$$
$$Q_{AK} = 250800000[J] \Rightarrow 70[kWh]$$

$$n_p = \frac{Q_{AK}}{P_{tep}} = \frac{70[kWh]}{8,5[kW]} = 8,24[hod]$$

Z kalorimetrickej rovnice vyplýva, že 1000 l nádoba postačí na chod jednotky s plným tepelným výkonom po dobu 8 hodín.



Obrázok 14: Schéma prepojenia KJ s akumulacnou nádržou

1 – KJ, 2 – teplotný regulačný systém, 3 – akumulacná nádrž, 4 – ohrevné teleso, 5 – elektrošpirála, 6 – potrubie na teplú pitnú vodu, 7 – pohonné čerpadlo, 8 - radiátor

Jednotka sa bude chovať podľa potrieb teplotných impulzov do teplotného regulačného systému, to znamená, že keď voda v hornej časti nádrže vychladne, jednotka sa znovu zapne na 8 hodín plného chodu, až kým sa do akumulacej nádrže neakumuluje tepelná energia o hodnote 0,2508 GJ (70 kWh). Z akumulacej nádrže sa potom čerpá ohriata voda do teplovodného systému vykurovania a ohrevu TUV. Takýmto spôsobom je možné sledovať tepelné potreby domácnosti, a tým nepliť tepelnou energiou, ako by tak bolo pri plnom chode kogeneračnej jednotky počas celého dňa. V letných mesiacoch odpadá potreba vykurovania objektu. Preto počas týchto mesiacov bude kogeneračná jednotka vypnutá. Ohrev TUV bude vykonávaný ohrevom vody v akumulacej nádrži elektrošpirálou, a elektrická energia sa bude nakupovať zo siete.

6.1.4 Energetická bilancia nasadenia mikrokogeneračnej jednotky

Na zhotovenie energetickej bilancie je potrebné vedieť koľko tepelnej a elektrickej energie je schopná KJ transformovať zo zemného plynu (v mojom prípade pri plnom výkone).

Z jednoduchého výpočtu potrebných hodín prevádzky na pokrytie tepelných potrieb RD som zistil, že pri maximálnom tepelnom výkone bude KJ s PČ v prevádzke 4505 hodín do roka.

$$n_{p/r} = Q_{Rdtep} / P_{KJtep} = 38\,300 \text{ [kWh]} / 8,5 \text{ [kW]} = 4\,505 \text{ [hod]}$$

Transformácia zemného plynu na elektrickú energiu

Schopnosť KJ transformovať energiu zo ZP na elektrickú závisí od jej elektrického výkonu.

P_{KJel} (elektrický výkon KJ) = 4,6 kW
Výroba el. energie z KJ = $P_{KJel} [kW] \cdot n_p [hod]$
Výroba el. energie z KJ = $4,6 \cdot 4505 = 20\,723 \text{ kWh/rok}$

Transformácia zemného plynu na tepelnú energiu

Schopnosť KJ transformovať energiu zo ZP na tepelnú závisí od jej tepelného výkonu.

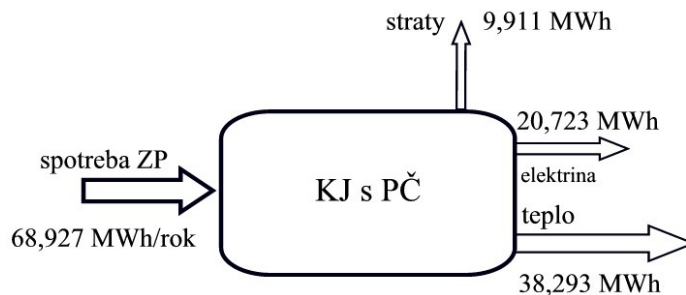
P_{KJtep} (max. tepelný výkon KJ) = 8,5 kW
 $Q_{KJvyt/r} = P_{KJtep} [kW] \cdot n_p [hod] \cdot 0,0036$
 $Q_{KJvyt/r} = 8,5 \cdot 4505 \cdot 0,0036 = 137,853 \text{ GJ/rok (38,300 MWh/rok)}$

Spotreba ZP

Spotreba plynu kogeneračnou jednotkou závisí na jej príkone.

$P_{prPČ}$ (príkonnosť jednotky) : 15,3 kW
 n_p (doba prevádzky jednotky) : 4505 hodín

Ročná spotreba ZP jednotkou = $n_p \cdot P_{prPČ} = 4505[hod] \cdot 15,3[kW] = 68\,927 [kWh/rok] = 68,927 [MWh/rok]$, (6564,5 m³ ZP)



Obrázok 15: Energetická bilancia kogeneračnej jednotky s palivovým článkom

6.1.5 Návratnosť vložených investícií

Pri výpočte návratnosti vložených investícií do nového systému pokrytia spotreby energií objektu je potrebné poznať servisné náklady na KJ, náklady za spotrebovaný ZP kogeneračnou jednotkou, náklady na nákup el. energie, a ročné výnosy z prevádzky KJ. Výnosy z ročnej prevádzky bude tvoriť predaj elektrickej energie, ktorú objekt nespotrebuje, ako aj príspevky za vyrobenú elektrickú energiu a ušetrené náklady za spotrebu energií pri ich oddelenej dodávke.

Ročné prevádzkové náklady :

a) Servisné náklady na KJ

Výrobca udáva náklady na potrebný servis samotnej jednotky s PČ v rozmedzí 5 000 až 7 000 Kč za každý rok prevádzky.

V tomto prípade, keď je KJ namáhaná regulovanou prevádzkou, budeme uvažovať sumu **7 000 Kč.**

b) Náklady za nakupovanú el. energiu

Keďže priebeh potreby el. energie nekopíruje priebeh potreby tepelnej energie, budem predpokladať, že KJ bude svojou regulovanou prevádzkou pokrývať iba 50% z celkovej spotreby el. energie :

Ročná spotreba el. energie = 4801 kWh

50% z ročnej spotreby el. en. = 2400,5 kWh

Zvyšných 50% z ročnej spotreby el. en. sa bude nakupovať z distribučnej siete, a to v pásme vysokého tarifu:

VT(vysoký tarif) : 2,892 Kč/kWh

Náklady za nákup el. energie = 2400,5[kWh] · 2,892[Kč/kWh] = **6 942 Kč**

c) Náklady za spotrebovaný zemný plyn

Spotreba ZP za rok prevádzky KJ = **68,927 [MWh/rok]**

KJ svojou ročnou spotrebou ZP spadá podľa ERÚ pre Jihomoravskú plynárenskú do kategórie odberateľov ZP o kapacite nad 63 MWh/rok. [13]

Kategória nad 63 MWh/rok :

Cena zemného plynu sa spočíta ako súčet ceny za odoberané kWh a ceny za kapacitu (ročnú sadzbu za denné maximum).

- Cena za odoberaný ZP = 1,1486 [Kč/kWh]
- Cena za kapacitu = ročná sadzba za denné maximum [194 844,48 Kč/tis.m³]
 - denné maximum = 34,98 [m³]

Náklady na ZP = (cena za odober. ZP · príkon KJ · hodín prevádzky) + cena za kapacitu

Náklady na ZP = (1,1486 · 15,3 · 4505) + 6 827,544 = **85 997 Kč/rok**

Ročné prevádzkové výnosy :

1) Výnosy z predaja el. energie

Je predpoklad, že po dohode s distribútorom el. energie (napr. E.ON) sa naskytla možnosť predaja 50% elektrickej energie vyrobenej danou kogeneračnou jednotkou, a to v cene 1,50 Kč za vyrobenú kWh.

Vyrobená el. energia = 20 723 kWh/rok

El. energia na predaj = 20 723 kWh / 2 = 10 362 kWh

Výnosy z predaja el. energie = 10 362 kWh · 1,50 Kč/kWh = **15 543 Kč**

2) Príspevok k výrobe el. energie

Výrobca elektriny z KVET s celkovým inštalovaným výkonom do 1 MWh má podľa ERÚ právo na príspevok k cene elektriny v hodnote 240 Kč za každú vyrobenú MWh elektriny. [13]

Vyrobená el. energia kogeneračnou jednotkou : $20,723 \text{ MWh}$

Výnos z príspevku k cene elektriny = $240 \text{ [Kč/MWh]} \cdot \text{vyrobená el. energia [MWh]}$

Výnos z príspevku k cene elektriny = $240 \cdot 20,723 = \underline{\underline{4\,974 \text{ Kč}}}$

3) Výnosy z ušetrených nákladov za energie čerpaných pri odd. dodávke energií :

a) Náklady na el. energiu pri odd. dodávke energií

Ročná spotreba elektrickej energie podľa faktúry za rok 2007 činí: **$4\,801 \text{ kWh}$** .

Spotreba RD v pásme VT : $3,422 \text{ MWh}$

Spotreba RD v pásme NT : $1,379 \text{ MWh}$

Cena elektrickej energie podľa E.ON za rok 2009 činí :

VT(vysoký tarif) : $2\,892 \text{ Kč/MWh}$

NT(nízky tarif) : $1\,677 \text{ Kč/MWh}$

Ročné náklady spotreby el. energie v pásme VT :

$$N_{VT,e,r} = 3,422 \text{ [MWh]} \cdot 2\,892 \text{ [Kč/MWh]} = 9\,896 \text{ Kč/rok}$$

Ročné náklady spotreby el. energie v pásme NT :

$$N_{NT,e,r} = 1,379 \text{ [MWh]} \cdot 1\,663,01 \text{ [Kč/MWh]} = 2\,312 \text{ Kč/rok}$$

Celkové náklady spotreby el. energie :

$$N_{CELKe,r} = N_{VT,e,r} + N_{NT,e,r} = 9\,896 + 2\,312 = \underline{\underline{12\,208 \text{ Kč/rok}}}$$

b) Náklady na ZP pri odd. dodávke energií

Spotreba ZP = **$4\,766 \text{ m}^3/\text{rok}$ ($50\,043 \text{ [kWh/rok]}$)**

RD svojou spotrebou ZP spadá podľa ERÚ pre Jihomoravskú plynárenskú do kategórie odberateľov ZP v rozmedzí nad 50 do 55 [MWh/rok]. [13]

Kategória nad 50 do 55 [MWh/rok]

- Cena za odoberaný plyn = $1,21123 \text{ Kč/kWh}$
- Cena za kapacitu (stála mesačná sadzba) = $361,72 \text{ Kč/mesiac}$

$$\begin{aligned} \text{Cena za ZP} &= (\text{cena za odoberaný plyn} \cdot \text{ročná spotreba ZP}) + \text{cena za kapacitu} \\ &= (1,21123 \cdot 50\,043) + (12 \text{ mesiacov} \cdot 361,72) = \underline{\underline{64\,954 \text{ Kč/rok}}} \end{aligned}$$

Výpočet návratnosti :

Ročné výnosy z prevádzky KJ [Kč/rok]	
predaj el. en.	15 543
príspevok na výrobu el. en.	4 974
ušetrené náklady na výr. el. en.	12 208
ušetrené náklady za ZP	64 954
spolu	97 679

Ročné náklady na prevádzku KJ [Kč/rok]	
servisné náklady	7 000
náklady za nákup el. en.	6 942
náklady za ZP	85 997
spolu	99 939

Tok peňazí (CF) = výnosy – náklady = 97 679 – 99 939 = - 2 260 Kč/rok

Záver z výpočtov

Tento režim prevádzky mKJ sa ukázal byť stratový. Hlavným dôvodom je, že kogeneračná jednotka pri sledovaní tepelných potrieb objektu produkuje veľké množstvo nevyužiteľnej elektrickej energie. Tým, že sa nevyužíva v plnej miere vyrobená elektrická energia, je majiteľ domu nútený predávať takúto nadbytočnú elektrinu za približne trojnásobne nižšiu cenu za akú ju nakupuje. Ďalším záporným aspektom je nedostatočné pokrytie spotreby el. energie spôsobené tým, že tepelné potreby objektu časovo nekopírujú priebeh požiadavok na el. energiu.

Znáčná časť nepokrytej potreby el. energie vzniká v letných mesiacoch, kedy je KJ odstavená od prevádzky z dôvodov nulovej požiadavky na teplo pre vykurovanie rodinného domu. To znamená, že aby bolo možné pokryť požiadavky na el. energiu v plnej miere, musela by sa KJ v tomto období využívať. V takom prípade je ale nutné zabezpečiť využitie odpadného tepla nevyužitého pre vykurovanie.

Možnosti využitia odpadného tepla počas letného obdobia:

- Vykurovanie vody v bazéne, sauny apod.
- Využitie systému na chladiace účely pomocou absorpčnej chladiacej jednotky (trigenerácia – transformácia chemickej energie v palive na el. energiu, teplo a chlad)
- Využitie tepla pre výrobu elektrickej energie – napr. Stirlingovým motorom

Aby však aj pri využití tepla z jednotky počas nevykurovacieho obdobia mohla byť prevádzka jednotky ekonomicky výhodná, museli by byť príspevky na vyrobenú el. energiu značne vyššie. Spejme preto k záveru, že pokiaľ nebude podpora kombinovanej výroby energií v podobe príspevkov za vyrobenú el. energiu alebo v podobe výkupu el. energie od štátu zreteľnejšia, takéto nasadenie mikrokogeneračnej jednotky nemá perspektívu.

6.2 Nasadenie mikrokogeneračnej jednotky do objektu so spotrebou energií ekvivalentnou voči vyrobeným energiám

V tejto kapitole budem uvažovať že existuje taký objekt, ktorý by svojou spotrebou plne odpovedal vyrobeným množstvám energií kogeneračnou jednotkou s palivovým článkom, či už elektrickej alebo tepelnej. Kogeneračná jednotka pri tom bude v prevádzke nepretžité po celý rok, čiže v ostrovnom režime. Týmto spôsobom chcem zistiť, že či je kogeneračná jednotka s PČ pri plnom odbere ňou vyrobených energií vôbec ekonomicky výhodná. Je to totiž ideálny prípad energetickej bilancie KJ, kedy sa všetko teplo využije, a tak neexistujú straty za spotrebu zemného plynu na nevyužité teplo. Ďalším dôležitým faktorom je využitie celej produkcie elektrickej energie, ktorá sa potom nemusí predávať za príliš nízke ceny distribučnej siete, a taktiež odpadá potreba akéhokoľvek nákupu elektrickej energie zo siete.

Kogeneračnú jednotku s PČ budem v závere porovnávať s kogeneračnou jednotkou na bázi motora – Mikro T8 od firmy TEDOM.

6.2.1 Mikrokogeneračná jednotka s palivovým článkom

Investičné náklady na mikrokogeneračnú jednotku

Cena KJ :	391 845 Kč
Cena s DPH :	466 296 Kč
Inšalačné náklady :	cca. 5 000 Kč

Celkové náklady : cca. **471 296 Kč**

Vyrobené energie mikrokogeneračnou jednotkou s PČ

Vyrobená elektrická energia = $4,6 \text{ kW} \cdot 365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hodín} = 40,296 \text{ MWh}$

Vyrobená tepelná energia = $8,5 \text{ kW} \cdot 365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hodín} = 74,460 \text{ MWh}$

Ročné náklady na prevádzku mikrokogeneračnej jednotky s palivovým článkom :

Ročné náklady na prevádzku mikrokogeneračných jednotiek sa skladajú zo servisných nákladov na ročnú prevádzku jednotky a z nákladov za spotrebu zemného plynu.

a) Servisné náklady na prevádzku = **7000 Kč**

b) Náklady za spotrebovaný zemný plyn

Pozn.: Od 1. Januára účtujú plynárenské spoločnosti dodávky zemného plynu v energetických jednotkách kWh.

Prepočet z m³ na kWh zemného plynu: 1m³ = 10,5 kWh [8]

spotreba ZP :	1,46 m ³ /hod
doba prevádzky :	8760 hodín

$$\begin{aligned}\text{Spotreba ZP za rok prevádzky KJ} &= \text{doba prevádzky} \cdot \text{spotreba ZP} \\ \text{Spotreba ZP za rok prevádzky KJ} &= 8760 [\text{hod}] \cdot 1,46 \text{ m}^3 \\ &= 12\,789,6 [\text{m}^3] = 134,291 [\text{MWh/rok}]\end{aligned}$$

KJ svojou ročnou spotrebou ZP spadá podľa Energetického regulačného úradu (ERÚ) pre Jihomoravskú plynárenskú do kategórie odberateľov ZP o kapacite nad 63 MWh/rok. [14]

Kategória nad 63 MWh/rok :

Cena zemného plynu sa spočíta ako súčet ceny za odoberané kWh a ceny za kapacitu (ročnú sadzbu za denné maximum).

- Cena za odoberaný ZP = 1,1486 [Kč/kWh]
- Cena za kapacitu = ročná sadzba za denné maximum [194 844,48 Kč/tis.m³]
 - denné maximum = 35,04 [m³]

náklady na ZP = (cena ZP · spotreba ZP) + cena za kapac.

$$\text{cena ZP} = (1,1486 \cdot 134\,296) + 6\,827 = \underline{\underline{161\,079\text{Kč/rok}}}$$

Ročné výnosy z prevádzky kogeneračnej jednotky s palivovým článkom :

Ročné výnosy z prevádzky KJ sa v tomto prípade skladajú z ušetrených nákladov za nakupovanú elektrickú energiu pri oddelenej dodávke energií, z príspevkov za vyrobenú el. energiu, a z ušetrených nákladov za spotrebu plynu pri oddelenej dodávke energií.

a) Výnosy z ušetrených nákladov za el. energiu pri oddelenej dodávke energií

Budem predpokladať že daný objekt má dennú spotrebu el. energie rozčlenenú na 16 hodín vysokého(VT) a 8 hodín nízkeho tarifu (NT).

$$\text{Spotreba el. energie objektu} = 40,296 \text{ MWh}$$

$$\text{VT} : 2,892 \text{ Kč/kWh}$$

$$\text{NT} : 1,677 \text{ Kč/kWh}$$

$$\text{VT} : 26\,864 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{NT} : 13\,432 \text{ kWh/rok}$$

$$\text{Náklady za odoberaný VT} = 2,892 \cdot 26\,864 = 77\,690 \text{ Kč}$$

$$\text{Náklady za odoberaný NT} = 1,677 \cdot 13\,432 = 22\,525 \text{ Kč}$$

$$\text{Celkové náklady za el. energiu} = 77\,690 + 22\,525 = \underline{\underline{100\,215 \text{ Kč}}}$$

b) Výnosy z príspevkov za vyrobenú el. energiu

$$= 0,24[\text{Kč/kWh}] \cdot 40\,296 [\text{kWh}] = \underline{\underline{9\,671 \text{ Kč}}}$$

c) Ušetrené náklady za spotrebu ZP pri odd. dodávke. energií

Je predpoklad že daný objekt používal pred úvahov zavedenia KJ na pokrytie svojich tepelných potrieb (vykurovanie, ohrev TUV) plynový kotol.

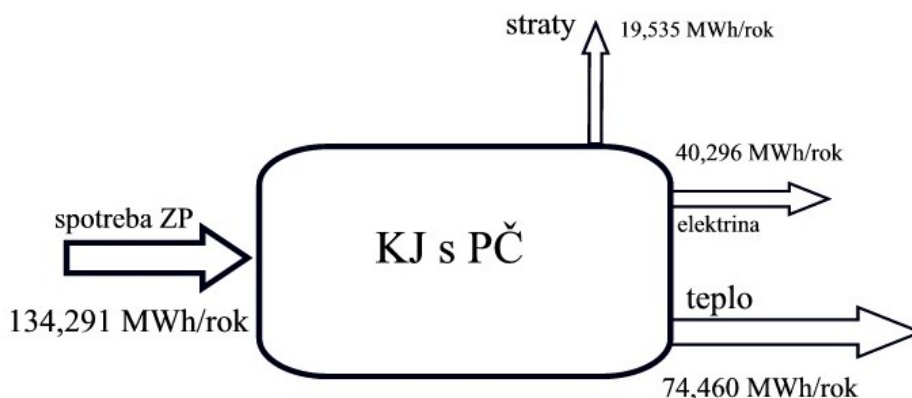
Keďže bežný plynový kotol má tepelnú účinnosť 90 % a je predpoklad že je nasadený na pokrývanie spotreby tepelnej energie, spotrebu zemného plynu získam výpočtom:

$$\text{Spotreba ZP} = \text{vyrobená tepelná energia} \cdot 1,1 = 81,906 \text{ MWh}$$

Kategória nad 63 MWh/rok :

- Cena za odoberaný ZP = 1,1486 [Kč/kWh]
- Cena za kapacitu = ročná sadzba za denné maximum [194 844,48 Kč/tis.m³]
 o denné maximum = 48 [m³]

$$\begin{aligned} \text{Náklady na plyn pri odd. dodávke} &= (81\,906 \text{ kWh} \cdot 1,1486 \text{ Kč/kWh}) + 9\,353 \text{ Kč/kap.} \\ &= \mathbf{103\,430 \text{ Kč/rok}} \end{aligned}$$



Obrázok 16 : Energetická bilancia nasadenia kogeneračnej jednotky s palivovým článkom

Návratnosť vložených investícií

Ročné výnosy z prevádzky KJ [Kč/rok]	
príspevok na výrobu el. en.	9 671
ušetrené náklady na výr. el. en.	100 215
uštrené náklady za ZP	103 430
spolu	213 316

Ročné náklady na prevádzku KJ [Kč/rok]	
servisné náklady	7 000
náklady za ZP	161 079
spolu	168 079

$$\text{Tok peňazí (CF)} = \text{výnosy} - \text{náklady} = 213\,316 - 168\,079 = 45\,237 \text{ Kč/rok}$$

Doba návratnosti:

a) Bez uvažovania znehodnocovania peňazí (T_{CF})

$$T_{CF} = \frac{\text{Investície}}{CF} = \frac{471296}{45237} = 10,42 \text{ roka}$$

b) S uvažovaním znehodnocovania peňazí (T_{DCF})

uvažovaná diskontná sadzba (r) = 0,75%

$$T_{DCF} = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_{CF} \cdot r}}{\ln(1 + r)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 10,42 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 10,89 \text{ roka}$$

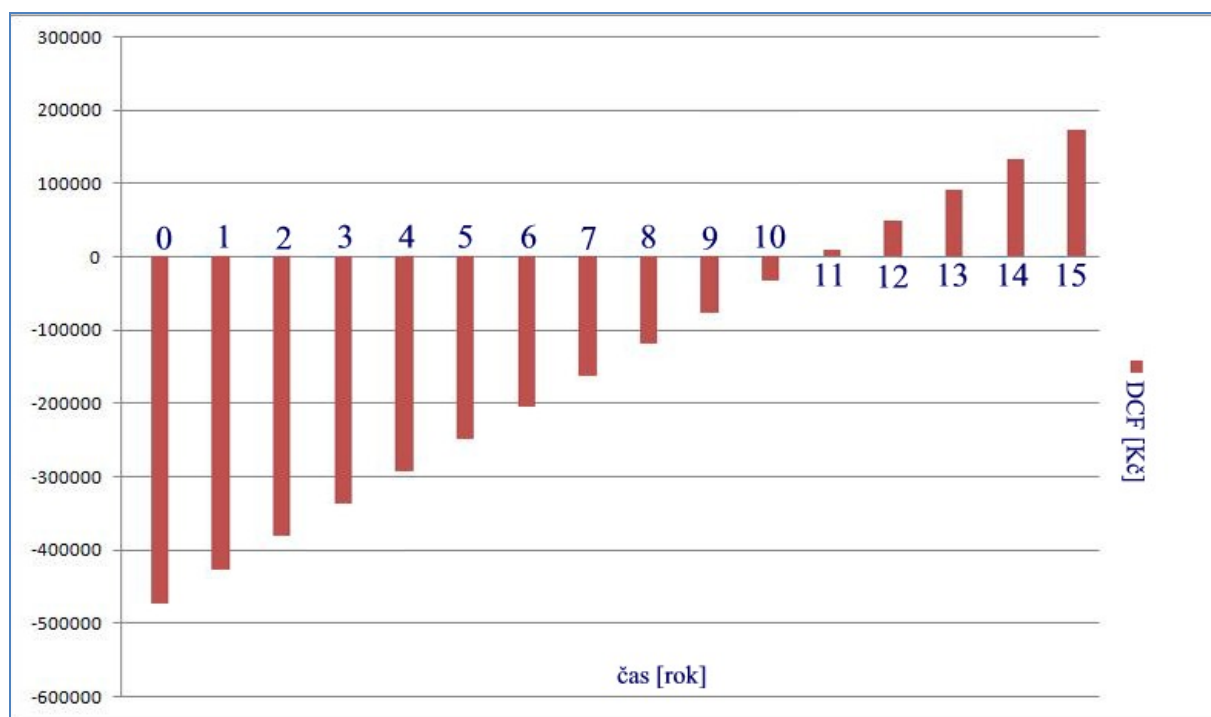
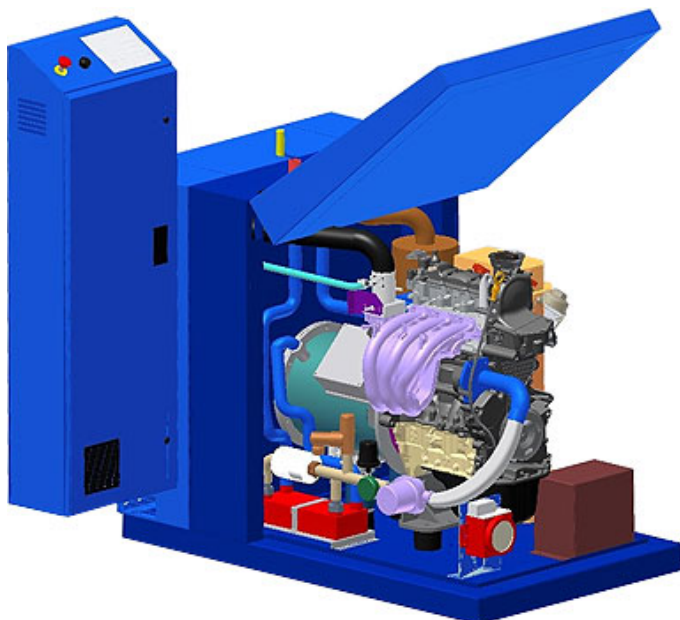


Diagram 1: Závislosť diskontovaného toku peňazí KJ s PČ na čase

6.2.2 Mikrokogeneračná jednotka so spalovacím motorom

Mikro T8 od firmy TEDOM



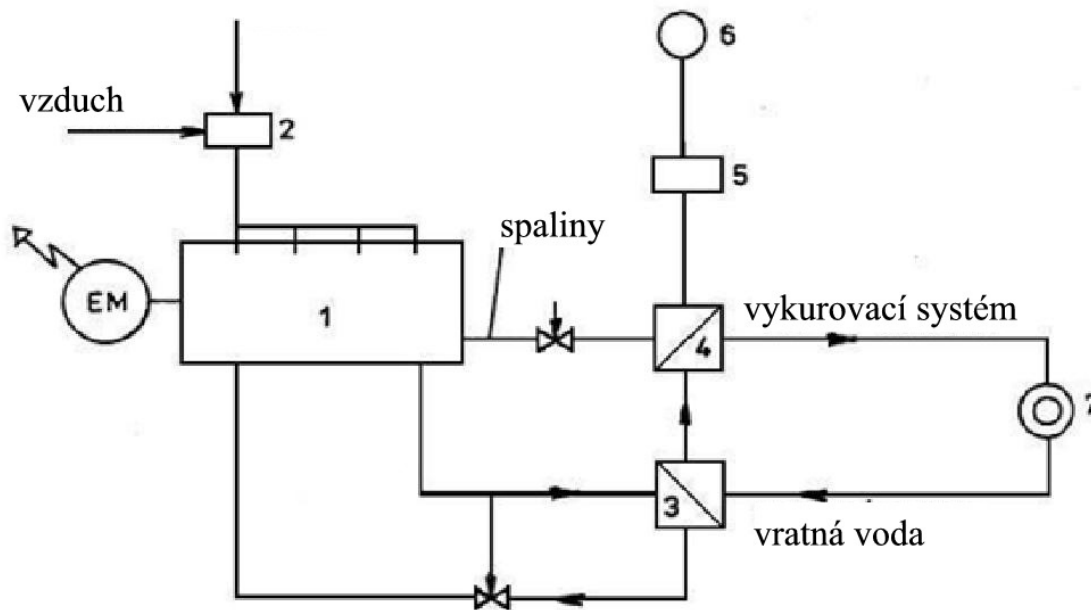
Obrázok 17 : KJ TEDOM Micro T8 [6]

U tohoto typu KJ sa transformácia tepelnej energie z paliva (zemný plyn) na mechanickú energiu vykonáva za pomoci spalovacieho piestového motoru, ktorý následne poháňa el. Generátor, a ten vyrába el. energiu.

Pre dodávku tepla z KJ sa využíva teplo z výfukových plynov motoru a tepla z chladenia bloku motoru a chladenia oleja.

Micro T8 je vybavená asynchrónnym generátorom. Je možné do sústavy doplniť mikroprocesorový riadiaci systém, ktorý umožňuje jej majiteľovi diaľkové sledovanie prevádzky.

Ak sa KJ Micro T8 používa pre vykurovanie a ohrev TUV, musí byť táto jednotka vybavená sekundárnym okruhom, ktorý zaisťuje vývod tepla do vykurovacieho systému.



Obrázok 18: Schéma zapojenia KJ Micro T8

1 – KJ, 2 – zmiešavacie zariadenie plyn/vzduch, 3 – výmenník voda/voda pre chladenie valcov motora, 4 – výmenník spaliny /voda, 5 – katalyzátor NO_x, 6 – komín, 7 – spotrebič tepla

Parametre KJ Micro T8

TEDOM MICRO T8 - 50%		
elektrický výkon	4	kW
max. tepelný výkon	9,5	kW
príkon v palive	14,8	kW
účinnosť elektrická	27,1	%
účinnosť tepelná	64,4	%
účinnosť celková	91,5	%
použité palivo	ZP	-
rozmery	1260 x 1180	mm
hmotnosť	710	kg
cena (bez DPH)	243 000	Kč

Vyrobené energie mikrokogeneračnou jednotkou so spalovacím motorom

Vyrobená elektrická energia = 4,0 kW · 365 dní · 24 hodín = 35,040 MWh

Vyrobená tepelná energia = 9,5 kW · 365 dní · 24 hodín = 83,220 MWh

Ročné náklady na prevádzku kogeneračnej jednotky so spalovacím motorom :

A) Servisné náklady na prevádzku KJ = 0,60 Kč/kWh_{el} · 35 040 kWh_{el} = **21 024 Kč**

B) Náklady za spotrebovaný zemný plyn

spotreba ZP : 1,41 m³/hod
doba prevádzky : 8760 hodín

Spotreba ZP za rok prevádzky KJ = doba prevádzky · spotreba ZP
Spotreba ZP za rok prevádzky KJ = 8760 [hod] · 1,41 m³
= 12 351,6 [m³] = 129,692 [MWh/rok]

KJ svojou ročnou spotrebou ZP spadá podľa Energetického regulačného úradu (ERÚ) pre Jihomoravskú plynárenskú do kategórie odberateľov ZP o kapacite nad 63 MWh/rok. [11]

Kategória nad 63 MWh/rok :

Cena zemného plynu sa spočíta ako súčet ceny za odoberané kWh a ceny za kapacitu (ročnú sadzbu za denné maximum).

- Cena za odoberaný ZP = 1,1486 [Kč/kWh]
- Cena za kapacitu = ročná sadzba za denné maximum [194 844,48 Kč/tis.m³]
 - denné maximum = 33,84 [m³]

Náklady na ZP = (cena ZP · spotreba ZP) + cena za kapac.
Náklady na ZP = (1,1486 · 129 692) + 6 594 = **155 558 Kč/rok**

Ročné výnosy z prevádzky kogeneračnej jednotky so spalovacím motorom :

A) Výnosy z ušetrených nákladov za el. energiu pri oddelenej dodávke energií

Spotreba el. energie objektu = 35,040 MWh

VT : 2,892 Kč/kWh
NT : 1,677 Kč/kWh

VT (16 hodín) : 23 360 kWh/rok
NT (8 hodín): 11 680 kWh/rok

Náklady za odoberaný VT = 2,892 · 23 360 = 67 557 Kč
Náklady za odoberaný NT = 1,677 · 11 680 = 19 587 Kč

Celkové náklady za el. energiu = 67 577 + 19 587 = **87 164 Kč**

B) Výnosy z príspevkov za vyrobenú el. energiu

Výnosy = 0,24[Kč/kWh] · 35,040 [kWh] = **8 410 Kč**

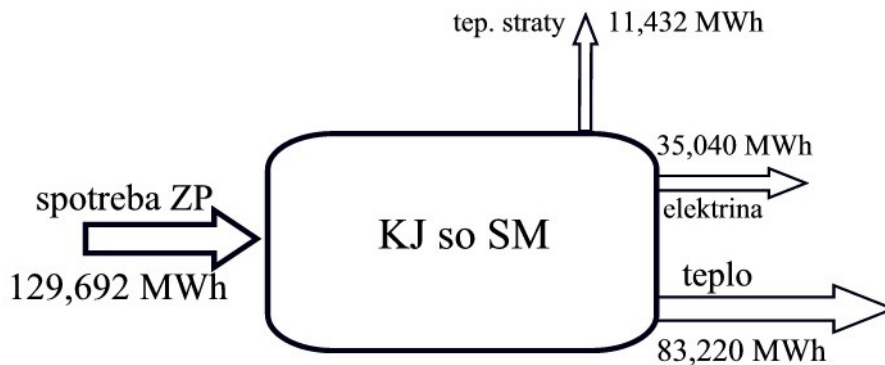
C) Ušetrené náklady za ročnú spotrebu ZP pri odd. dodávke energií

Spotreba ZP = vyrobená tepelná energia · 1,1 = 83,220 MWh · 1,1 = 91,542 MWh

Kategória nad 63 MWh/rok :

- Cena za odoberaný ZP = 1,1486 [Kč/kWh]
- Cena za kapacitu = ročná sadzba za denné maximum [194 844,48 Kč/tis.m³]
 o denné maximum = 33,84 [m³]

Náklady na plyn pri odd. dodávke = (91 542 kWh · 1,1486 Kč/kWh) + 6 594 Kč/kap.
 = **111 739 Kč/rok**



Obrázok 19: Energetická bilancia nasadenia kogeneračnej jednotky so spalovacím motorom

Návratnosť vložených investícií

Ročné výnosy z prevádzky KJ [Kč/rok]	
príspevok na výrobu el. en.	8 410
ušetrené náklady na výr. el. en.	87 164
ušetrené náklady za ZP	111 739
spolu	207 313

Ročné náklady na prevádzku KJ [Kč/rok]	
servisné náklady	21 024
náklady za ZP	155 558
spolu	176 582

CF (tok peňazí) = výnosy – náklady = 207 313 – 176 582 = 30 731 Kč

Doba návratnosti

a) Bez uvažovania znehodnocovania peňazí (T_{CF})

$$T_{CF} = \frac{Inv}{Z_r} = \frac{329870}{30731} = 10,7 \text{ roka}$$

b) S uvažovaním znehodnocovania peňazí (T_{DCF})

uvažovaná diskontná sadzba (r) = 0,75 %

$$T_{DCF} = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_{CF} \cdot r}}{\ln(1 + r)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 10,7 \cdot 0,0075}}{\ln(1 + 0,0075)} = 11,2 \text{ roka}$$

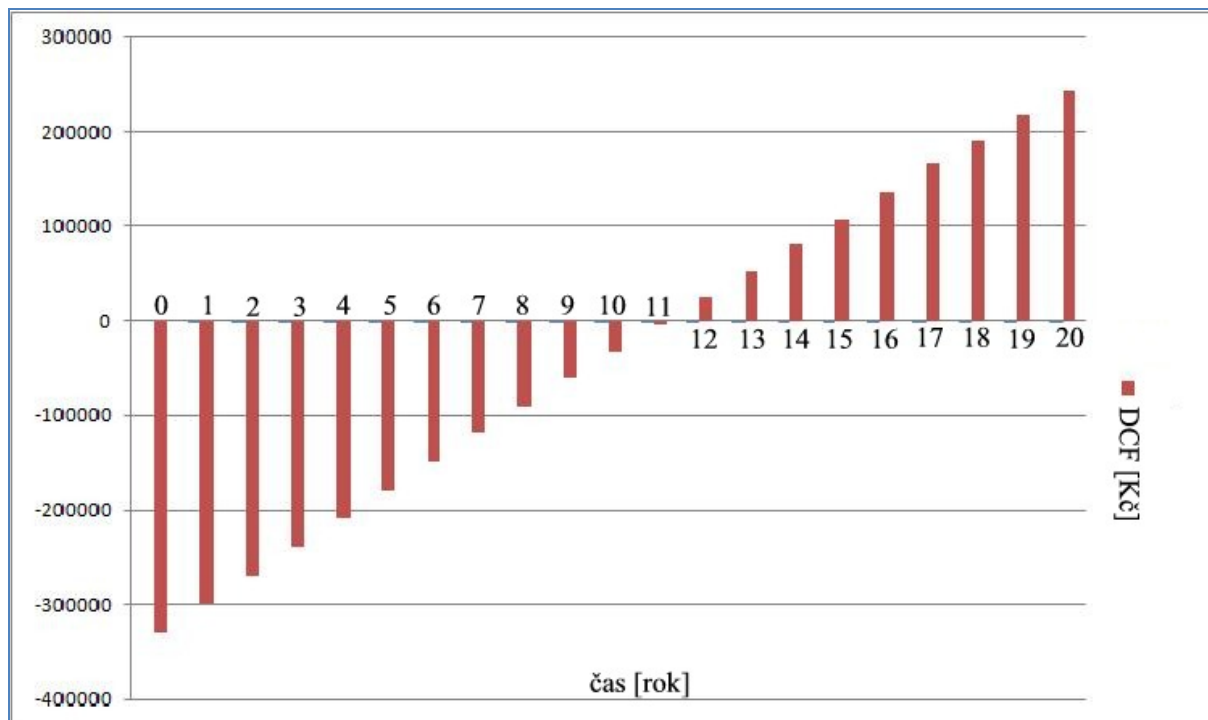


Diagram 2: Závislosť diskontovaného toku peňazí KJ so SM na čase

Porovnanie mikrokogeneračných jednotiek

Mikrokogeneračná jednotka s PČ

Výhody :

- nízke emisie
- tichý chod – nemajú pohyblivé časti
- vysoká el. účinnosť
- nutnosť palivového reforméru

Nevýhody :

- náklady
- doba životnosti
- dlhá štartovacia doba (20 až 30 minút)

Mikrokogeneračná jednotka so SM

Výhody :

- relatívne nízke investičné náklady
- rýchly štartovací čas na plný výkon (15 sekúnd)
- možnosť vykonania opravy na mieste

Nevýhody :

- vysoký modul teplotárskej výroby
- vysoké hodnoty nízkofrekvenčného hluku
- vysoké náklady na údržbu

Závery z výpočtov

Z vypočítaných ekonomických hodnôt oboch mikrokogeneračných jednotiek nasadených v danom objekte vyplýva, že i keď má mKJ s PČ množstvo výhod oproti mKJ so SM, je jej nasadenie v danom objekte riziková záležitosť. Vychádzam pri tom z výpočtu návratnosti, ktorý ukázal, že pri takých vysokých investičných nákladoch na mKJ s PČ sa vložené investície do systému mKJ navrátia po viac ako 10 rokoch, pričom doba životnosti jednotky je iba 10 až 15 rokov. Tým, že je mikrokogeneračná jednotka so SM menej nákladná a má dlhšiu životnosť (18 – 20 rokov), znamená pre investora menšie investičné riziko.

7 Záver

Cieľom mojej práce bolo priblížiť technológiu palivových článkov. O palivové články ako alternatívny zdroj elektrickej energie sa začala odborná verejnosť bližšie zaujímať po prepuknutí ropnej krízy v 70. rokoch 20. Storočia. Palivovým článkom rozumieme elektrochemické zariadenie, ktoré transformuje energiu v palive priamo na elektrickú, vďaka čomu dosahujú vysokých účinností, a nízkych až nulových emisií. V tom spočíva ich hlavná prednosť oproti tradičným zdrojom elektrickej energie spaľujúcich fosílnu palivá.

Palivový článok sa skladá z elektrolytu umiestneného v priestore medzi elektródami, na ktorých prebiehajú oxidačno-redukčné reakcie.

PČ sa v praxi rozlišujú podľa druhu použitého elektrolytu na šesť základných typov, ktoré sú podľa pracovnej teploty rozdelené do troch kategórií :

- Nízкотеплотné (AFC, PEMFC, DMFC)
- Strednetеплотné (PAFC)
- Vysokотеплотné (MCFC, SOFC)

Najbežnejším palivom pre palivové články je vodík. Ten sa však v čistej neviazanej forme na Zemi nevyskytuje, a preto je nutné ho získavať zo zlúčenín, ako sú napr. ethanol a metán (CH_4).

Ako najekonomickejšie riešenie získavania vodíku sa v súčasnej dobe ukazuje byť parný reforming zemného plynu, ktorý obsahuje až 98% CH_4 . Základom parného reformingu je endotermická reakcia metánu s vodou, čím vzniká oxid uhoľnatý, ktorý následne v druhej časti reformingového procesu reaguje s vodnou parou a tak vzniká vodík a oxid uhličitý.

V záverečnej časti mojej práce som posudzoval nasadenie mikrokogeneračnej jednotky s palivovým článkom v dvoch rôznych variantách prevádzky.

V prvej variante, v režime sledovania tepelných potrieb objektu regulačným systémom, sa spôsob pokrývania energetických potrieb objektu kogeneračnou jednotkou ukázal byť oproti oddelenej dodávke energií stratový. Prišiel som k záveru, že hlavným dôvodom vzniknutých strát je nedostatočná finančná podpora kombinovanej výroby energií v podobe príspevkov za vyrobenú elektrickú energiu (240 Kč/MWh), ako i nízke nákupné ceny prebytočnej elektrickej energie.

Druhá varianta prevádzky kogeneračnej jednotky spočívala v predpoklade, že existuje taký objekt, ktorý plne využije kogeneračnou jednotkou vyrobené množstvo tepelnej ako i elektrickej energie pri nepretržitom chode jednotky. V tejto variante som porovnával nasadenie kogeneračnej jednotky nielen s oddelenou dodávkou energií, ale i s kogeneračnou jednotkou používajúcou spalovací motor. Z výpočtov návratnosti som pri KJ s PČ zistil, že jej nasadenie by bolo ekonomicky riskantné, keďže doba návratnosti je pri diskontovanom toku peňazí 10,89 rokov, pričom životnosť jednotky je len 10 až 15 rokov. Pri použití KJ so SM je síce doba návratnosti o čosi dlhšia (11,2 rokov), no životnosť jednotky dosahuje 18 až 20 rokov, a tak nasadenie tejto jednotky by pre prípadného investora znamenalo menšie finančné riziko.

Pre budúci rozvoj a uplatnenie palivových článkov vo sfére mikrokogenerácie je rozhodujúci pokles ich ceny, ako aj väčšia podpora od štátu v tejto oblasti.

8 Zoznam použitých zdrojov

8.1 Použitá literatúra

- [1] PORŠ, Z.: Palivové články, firemní materiál ČEZ, 2003
- [2] ČESKÝ, A.: Přehled palivových článků, materiál ČEA, 2004
- [3] HERMANN, P.; NOSKIEVIČ, P; KOLAT, P.: Palivový článku v uhelné energetice
Acta Montanistica Slovaca, 1998
- [4] DVORSKÝ, E.; HEJTMÁNKOVÁ, P :Kombinovaná výroba elektrické a tepelné
energie, BEN, 2005
- [5] PADĚRA, J. Kogenerační jednotky pro domácí využití. Brno: Vysoké učení technické v
Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 56 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří
Pospíšil, Ph.D.

8.2 Zdroje z internetu

- [6] <http://www.tedom.cz>
- [7] <http://www.plugpower.com>
- [8] <http://www.rwe.cz>
- [9] <http://www1.eere.energy.gov>
- [10] <http://www.fuelcells.org>
- [11] <http://www.tzb-info.cz>
- [12] <http://www.princeton.edu>
- [13] <http://www.britannica.com>
- [14] <http://www.sciencedaily.com>
- [15] <http://www.eru.cz>
- [16] <http://www.enviros.cz>
- [17] <http://www.vodik.czweb.org>
- [18] <http://www.seas.sk>